

DIRCEU SCALDELA

**DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA PARA SIMULAÇÃO
DE *CALL CENTERS***

CURITIBA

2007

DIRCEU SCALDELA

**DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA PARA SIMULAÇÃO
DE *CALL CENTERS***

**Dissertação apresentada como
requisito parcial à obtenção do
grau de Mestre em Ciências, Curso
de Pós-Graduação em Métodos
Numéricos em Engenharia, Área de
Concentração em Programação
Matemática, Setor de Ciências
Exatas e Setor de Tecnologia,
Universidade Federal do Paraná.**

**Orientador: Prof^a. Dr. Volmir
Eugênio Wilhelm**

CURITIBA

2007

TERMO DE APROVAÇÃO

**A Deus em primeiro lugar,
pois sem ele nada seria possível.
Aos meus pais e a minha noiva.**

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador o Dr. Volmir Eugenio Wilhelm, pela orientação, paciência e dedicação, fatores fundamentais para concretização deste trabalho.

A todos os professores que compartilharam seus conhecimentos, propiciando a realização deste curso.

A todos os colegas, cujo apoio foi fundamental para alcançar os objetivos almejados.

A minha noiva Raquel pelo apoio, no momento mais crucial da realização deste trabalho, além de sua compreensão e paciência.

A meus pais e familiares pelo incentivo e por facilitar a realização deste sonho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
RESUMO.....	x
ABSTRACT	xi
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA	3
1.2 OBJETIVOS	5
1.2.1 Objetivo Geral	5
1.2.2 Objetivos Específicos	6
1.3 METODOLOGIA	6
1.4 JUSTIFICATIVA.....	7
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	8
2 REVISÃO DE LITERATURA	9
2.1 CALL CENTER.....	10
2.2 TÉCNICAS DE PESQUISA OPERACIONAL	14
2.3 TEORIA DAS FILAS.....	16
2.3.1 Características dos Processos de Filas.....	17
2.3.1.1 Chegadas de Clientes.....	17
2.3.1.2 Padrões de Serviço	19
2.3.1.3 Disciplina das Filas	20
2.3.1.4 Capacidade do Sistema.....	22
2.3.1.5 Estrutura do Sistema.....	23
2.3.2 Modelos de Filas	24
2.3.2.1 Notações	24
2.3.2.2 Parâmetros de Operações das Filas	25
2.3.2.3 Modelo $M / M / 1 / \infty / FIFO$	26
2.3.2.4 Modelo $M/M/c$	33
2.4 SIMULAÇÃO	35
2.4.1 Fases na Realização de uma Simulação	37
2.4.1.1 Formulação do Problema e dos Objetivos.....	38
2.4.1.2 Coleta de Dados.....	39
2.4.1.3 Modelagem e Codificação.....	39
2.4.1.4 Validação do Modelo	41
2.4.1.5 Apresentação dos Resultados e Validação Estatística dos Dados.....	43
2.4.2 Método de Monte Carlo.....	44
2.4.3 Números Aleatórios.....	46
2.5 SOFTWARES DE SIMULAÇÃO.....	47

3 SIMULACALL: FERRAMENTA PARA SIMULAÇÃO DE CENTRAL DE ATENDIMENTO TELEFÔNICO	51
3.1 O MATLAB [®] 7	52
3.1.1 Requisitos de <i>Hardware</i> e de <i>Software</i>	53
3.2 ALGORITMO GERAL DA FERRAMENTA SIMULACALL	54
3.2.1 Menu Arquivo.....	56
3.2.2 Entrada de Dados	57
3.2.3 Simulador	62
3.2.3.1 Procedimentos do Simulador.....	63
3.2.4 Apresentação dos Resultados Gráficos	67
3.2.5 Apresentação dos Resultados Numéricos	68
 4 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO SIMULACALL	71
4.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	72
4.2 SIMULAÇÕES	74
4.2.1 Resultados Obtidos nas Simulações.....	76
4.2.1.1 Número de Ligações.....	76
4.2.1.2 Tempo Médio de Espera na Fila e Permanência no Sistema	78
4.2.1.3 Ligações Fora dos Limites e Ociosidade dos Atendentes	85
 5 CONCLUSÕES	92
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	93
 REFERÊNCIAS	95
 ANEXO.....	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 2. 1: Notação de Fila – A/B/m/k/M	24
Tabela 2. 2: Estatísticas para Análises Aplicadas em Verificação e Validação de Modelos de Simulação	42
Tabela 3. 1: Requisitos para Instalação do Matlab [®] 7	53
Tabela 3. 2: Plataformas que suportam o Matlab [®] 7	54
Tabela 4. 1: Horário e Quantidade de Atendentes da Empresa Exímia	72
Tabela 4. 2: Horário e quantidade de atendentes Proposta por Barboza (2000)	73
Tabela 4. 3: Dados para a Simulação	75
Tabela 4. 4: Número Médio de Ligações	76
Tabela 4. 5: Tempo médio de Espera na Fila e de Permanência no Sistema	81
Tabela 4. 6: Ligações Fora dos Limites de Tolerância	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 2. 1: Processo de um <i>call center</i> receptivo	11
Figura 2. 2: Esquema Funcional do Modelo M/M/1	27
Figura 2. 3: Esquema do Modelo de Fila M/M/c	34
Figura 2. 4: Fases para a Realização de uma Simulação	37
Figura 2. 5: Modelo simples de Simulação	45
Figura 3. 1: Tela Inicial do <i>Software</i> SimulaCall juntamente com a área de trabalho do Matlab [®] 7	51
Figura 3. 2: Fluxograma do Funcionamento do SimulaCall	55
Figura 3. 3: Menu “Arquivo” do SimulaCall	56
Figura 3. 4: Menu “Dados” do SimulaCall	57
Figura 3. 5: Popup “Informações Gerais”	58
Figura 3. 6: Popup “Informações sobre os Tipos de Serviço”	59
Figura 3. 7: Popup “Parâmetros para Simulação”	59
Figura 3. 8: Arquivo Escalas.xls:	61
Figura 3. 9: Caixa de Diálogo do Submenu “Escala de Horários dos Atendentes”.	61
Figura 3. 10: Menu “Simulação” do SimulaCall.....	62
Figura 3. 11: Caixa Informativa do Andamento da Simulação.....	63
Figura 3. 12: Caixa Informativa sobre a Conclusão da Simulação	63
Figura 3. 13: Menu “Resultados” do SimulaCall	67
Figura 3. 14: Popup “Gráficos dos Resultados”	68
Figura 3. 15: Popup “Resultados Numéricos”	69
Figura 3. 16: Popup “Análise dos Resultados”	69
Figura 3. 17: Caixa informativa sobre o resultado obtido	70
Figura 3. 18: Tabela de Resultados da Anova.....	70

Figura 4. 1: Matriz “Escala dos Atendentes”, construída no Microsoft Excel..	74
Figura 4. 2: Quadro da Anova referente à quantidade de ligações da 1ª Simulação.	78
Figura 4. 3: Gráfico “Quantidade de ligações” referente à 1ª Simulação.	78
Figura 4.4: Quadro da Anova referente à quantidade de ligações da 2ª Simulação	79
Figura 4. 5: Gráfico “Quantidade de ligações” referente à 2ª Simulação.	79
Figura 4. 6: Quadro da Anova referente à quantidade de ligações da 2ª Simulação	80
Figura 4. 7: Gráfico “Quantidade de ligações” referente a 2ª Simulação.	80
Figura 4. 8: Quadro da Anova referente ao tempo médio de espera na fila da 1ª Simulação	82
Figura 4. 9: Gráfico “Tempo médio de Espera na Fila” referente a 1ª Simulação	83
Figura 4. 10: Quadro da Anova referente ao tempo médio de espera na fila da 2ª Simulação	83
Figura 4. 11: Gráfico “Tempo médio de Espera na Fila” referente a 2ª Simulação	84
Figura 4. 12: Quadro da Anova referente ao tempo médio de espera na fila da 3ª Simulação	85
Figura 4. 13: Gráfico “Tempo médio de Espera na Fila” referente a 3ª Simulação	85
Figura 4. 14: Gráfico “Número de Ligações Fora dos Limites Tolerados” referente à 1ª Simulação.	87
Figura 4. 15: Gráfico “Número de Ligações Fora dos Limites Tolerados” referente à 2ª Simulação.	88
Figura 4. 16: Gráfico “Número de Ligações Fora dos Limites Tolerados” referente à 3ª Simulação.	89
Figura 4. 17: Gráfico “Taxa de Ociosidade” referente à 1ª Simulação.	90
Figura 4. 18: Gráfico “Taxa de Ociosidade” referente à 2ª Simulação.	90

RESUMO

Cada vez mais, os consumidores exigem serviços e produtos de maior qualidade e com maior agilidade, pois, os mesmos não têm tempo para permanecer em filas, de qualquer que seja a natureza. Com base nisso o presente trabalho propõe a elaboração de um *software* em linguagem Matlab[®]7, para realização de simulações em *Call Centers* (centrais telefônicas responsáveis pelo serviço de tele atendimento), por meio do uso de técnicas de simulação de sistema. A Simulação serve para analisar quantitativamente a formação de filas de maneira prática sem a necessidade de experiências reais, que são inviáveis para as empresas que buscam a otimização de seus recursos. Um *Call Center* é um sistema complexo devido à aleatoriedade das ligações e das condições de atendimento, sendo assim, é muito difícil para seus administradores buscar o aperfeiçoamento dos serviços prestados sem o auxílio de ferramentas como a que é proposta neste trabalho. Torna-se interessante dispor da quantidade ideal de tele atendentes para que o tempo de espera na fila seja mínimo e não existam funcionários em ociosidade evitando assim gastos desnecessários.

Palavras chave: Simulação, *Call Center*, *Matlab*, Teoria da Filas.

ABSTRACT

More and more, the consumers are more exigents about the quality e agility of products and services. Because them don't have enough time to stay waiting in line, whoteves it be. So this work proposes the elaboration of software in matlab languages, to make a simulation in Call Center (telephonics Centrals to operate service for phone's attendants), throught from use of technics of operational research, more specifichy the system simulations. The simulation sever to analyse qualifily the lives formation of a pratice way without of a necessity of reals experiences, what are unlikelyus for the companies that wants improve their resources. A Call Center is a complex system in due the aleatory ways from calling, so its so hard for your menagers search the improvement of services without the help of instrument like that one wich is proposed in their work, because at the some time they need to have am ideal quantity of tele atendants to the waiting time ini the line be shorter an possible and the workers are not idle avoiding extras costs.

Words key: Simulation, Call Center, Matlab, Queuing theory.

1 INTRODUÇÃO

A cada dia os consumidores exigem mais das empresas prestadoras de serviços. Eles esperam que os serviços solicitados sejam realizados o mais breve possível, ou no mínimo dentro de um prazo estipulado pela própria empresa.

De acordo com o Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial (SENAC, 2007), para a maioria das pessoas, a qualidade do serviço é mais importante do que seu preço, concluindo-se que os consumidores estão dispostos a pagar mais por serviços de qualidade e que são realizados dentro do prazo.

Já as empresas têm que atender aos consumidores com qualidade, porém qualidade não se resume à tratá-los bem, com cortesia, mais do que isso, hoje qualidade significa acrescentar benefícios a produtos e serviços objetivando superar as expectativas do consumidor. De acordo com Andrade (2004) é necessário estabelecer um canal de comunicação direto entre os dois lados interessados, através do qual o primeiro é regularmente ouvido, com muita atenção, e suas críticas e sugestões transformadas em especificações de melhores produtos e serviços.

Porém, cada vez mais o homem tem mais ocupações, não podendo desperdiçar o precioso tempo se deslocando de sua casa até a empresa em que o mesmo deseja fazer alguma solicitação de serviço ou até mesmo reclamar de algum acontecimento indesejado. Para suprir essa necessidade de tempo de seus consumidores, as empresas, com o objetivo de melhor atender, oferecem serviços de tele atendimento, ou seja, ouvir seus clientes através de ligações telefônicas.

O setor responsável pelo tele atendimento é denominado “*Call Center*”, isto é, “Centro de Chamadas”, ou ainda “Central de Atendimento”. Minghelli (2002) afirma que nos últimos anos cresce a importância dos *Call Center*, como uma das principais formas encontradas pelas empresas para se comunicar com seus clientes como, por exemplo, companhias aéreas, hotéis e bancos, etc.

Um *Call Center* é um conjunto de soluções e facilidades (Equipamentos, Sistemas e Pessoal) que tem como objetivo fazer a interface entre os clientes e a empresa, isto é, *Call Center* é um centro de atendimento dotado de uma central telefônica, onde são atendidas as chamadas de clientes.

Se a empresa possui uma central de atendimento equipada e com bons atendentes, alcançará a satisfação dos seus clientes, o que provocará um aumento nas suas vendas de produtos ou prestações de serviço, acarretando em um acréscimo no lucro final.

Todavia, para que uma empresa possa manter este *Call Center* funcionando, e de maneira eficiente, (Araújo et al, 2004), alguns fatores importantes devem ser considerados. O primeiro fator indispensável é evitar que os clientes esperem por muito tempo em uma fila virtual¹. Em todo *Call Center* a diminuição da fila de espera é um objetivo almejado. A permanência do cliente nessa fila deve ser o mais breve possível ou de preferência ela deve ser nula.

O segundo fator é a qualificação dos tele atendentes, onde estes devem estar preparados para atender o máximo de situações que os clientes venham apresentar para os mesmos, evitando desta forma a transferência de ligações entre mais de um atendente. Em grande parte das empresas que possuem *Call Center* existe a URA (Unidade de Resposta Audível). Tal equipamento possibilita ao cliente, quando iniciada a ligação, direcionar suas necessidades para o setor responsável por suprir suas necessidades.

Um terceiro fator relacionado a um *Call Center*, de interesse exclusivo da empresa, é o da quantidade de tele atendentes necessários para suprir a demanda de ligações sem que haja formação excessiva de filas e, ao mesmo tempo, que não haja uma ociosidade excessiva dos teles atendentes.

No entanto, é complexo o funcionamento de uma central telefônica, isto é, não há controle exato sobre o número de ligações que podem ocorrer em determinado momento, sendo possível que num determinado instante ocorram

¹ **Fila Virtual:** Uma fila virtual é uma fila imaginária de clientes, gerada pelo tempo de espera na linha telefônica.

várias ligações, provocando o surgimento de filas. Por outro lado, em determinados instantes o número de ligações por um intervalo de tempo diminui drasticamente, ocasionando a ociosidade dos tele atendentes.

Com o aumento da complexidade e a constante busca de eficiência operacional e redução de custos, a administração da empresa prestadora do serviço de *Call Center* fica impossibilitada de obter soluções que aperfeiçoem seus recursos.

Nesse sentido, esse trabalho propõe o estudo de uma técnica da Pesquisa Operacional, mais propriamente dita a Simulação de Sistemas para viabilizar o processo de escolha do melhor plano de ação que a empresa deve adotar para suprir suas necessidades sem que haja um desperdício de recursos.

A importância da simulação cresce em sistemas que apresentam alto grau de complexidade e onde uma solução exata não é possível. Nestes casos, a simulação torna-se, muitas vezes, a única ferramenta de análise.

1.1 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

Dependendo da dimensão *Call Center*, o número de ligações recebidas por ele pode ultrapassar a casa das 1000 ligações por hora, sendo que o serviço pode ser prestado 24 horas por dia. Para atender a tal demanda há um grande número de atendentes, às vezes treinados para trabalhar em qualquer setor, ou em outros casos, recebem o treinamento exclusivo para o atendimento de um determinado setor. Sendo que tais atendentes podem possuir as jornadas de trabalho mais diversificadas.

No Brasil as empresas que possuem *Call Centers* devem atender a algumas normas impostas pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) que é uma autarquia² brasileira:

“A Concessionária manterá durante todo o prazo da presente concessão, central de informação e de atendimento do usuário, funcionando 24 (vinte e quatro) horas por dia, capacitada para receber e processar solicitações, queixas e reclamações encaminhadas pelos usuários pessoalmente ou por qualquer meio de comunicação à distância” (BRASIL, ANATEL, 1998).

As chamadas destinadas aos serviços que utilizarem auto-atendimento ou necessitem da intervenção de telefonistas deverão ser atendidas, em cada Período de Maior Movimento, em até 10 segundos, (...) em 95% dos casos - Em nenhum caso, o atendimento deverá se dar em mais de 35 segundos (BRASIL, ANATEL, 1998).

Desta forma a empresa deve procurar uma maneira de atender as normas da ANATEL, valorizar ao máximo o bom atendimento de seus clientes, já que estes são a sua fonte de lucros e evitar gastos excessivos com atendentes. Para atender a todas essas necessidades e exigências, o *Call Center* torna-se um sistema complexo.

A complexidade do sistema se torna ainda mais evidente se considerar que as quantidades de ligações, assim como o instante em que elas são geradas, são totalmente aleatórios, o que torna praticamente impossível de se determinar o número de atendentes necessários para atender as ligações sem que haja a formação de filas ou que os tele atendentes fiquem ociosos por um período além do desejado. Devido a isso, os administradores desses *Call Centers* sempre se fazem as seguintes perguntas (Yonamine, 2006):

- Quantas chamadas de cada tipo são esperadas a cada momento?
- Com qual velocidade cada tipo de chamada deve ser atendida?
- Quantos agentes devem ser contratados?
- Quais as habilidades necessárias devem ter os atendentes?
- Como os atendentes devem ser escalados em relação aos turnos de trabalho, horário de lanches, treinamento e outras atividades?

² **Autarquia:** Do grego *autarchía*, é um conceito pertinente a vários campos, mas sempre lidando com a idéia geral de algo que exerce poder sobre si mesmo.

- Como os atendentes devem ser treinados? Todos devem ter o mesmo treinamento ou devem-se dividir em grupos, conforme os serviços prestados?
- Dada a previsão, como o sistema reagirá, qual será seu desempenho, a escala de atendentes foi a adequada?
- Qual a consequência de uma sobrecarga no volume de chamadas?
- Como o *Call Center* está se comportando? O que mudou desde a última previsão de desempenho e definição de escalas?
- O que deve ser feito para minimizar as filas e a ociosidade dos atendentes?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

A procura por um serviço leva ao risco do não atendimento imediato, sendo necessário entrar numa fila de espera, até que ocorra o atendimento.

A formação de uma fila ocorre porque a procura pelo serviço é maior do que a capacidade do sistema de atender a esta procura. Além da quantidade de ligações não ser regular, como por exemplo, de hora em hora, nem a equipe de tele atendentes responsável pelo serviço, por mais treinada que seja, consegue realizar todos os atendimentos num mesmo período de tempo, ou seja, cada cliente tem seus problemas, cujo tempo gasto na sua resolução é variável.

Em função desta irregularidade, dos números de ligações feitas pelos clientes e pelo tempo gasto no atendimento, o presente trabalho tem por objetivo **implementar um programa, em linguagem MATLAB[®]7 a fim de propor**

melhorias no funcionamento de um *Call Center*, utilizando técnicas de simulação.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver, com o uso de simulação computacional, um simulador que retrate o Serviço de Tele atendimento (*Call Center*), que possa:
 - Estipular um plano de atendimento para a empresa, de tal forma que os clientes não tenham que esperar na fila por um tempo maior que os estipulados pela empresa;
 - Verificar através da simulação o número de telefonistas necessários para suprir a demanda de ligações;
 - Utilizar a simulação para realizar novas experiências, ou testar algumas adversidades que possam ocorrer.
 - Desenvolver no simulador uma interface gráfica que facilite a sua utilização.

1.3 METODOLOGIA

O funcionamento de um *Call Center* é complicado e não pode ser facilmente resolvido por modelos analíticos, por ser impossível ou muito custoso de observar diretamente certos processos no mundo real. Por isso é proposto o emprego de simulação que possibilita o estudo e a experimentação de complexas interações internas de um dado sistema.

Portanto, o uso de simulação tem como propósito entender o comportamento e avaliar estratégias para sua operação, ou seja, estipular um plano de atendimento de maneira que os clientes que entram em contato com a empresa através do sistema telefônico sejam atendidos o mais rápido possível, sem que haja a necessidade de contratação de novos funcionários de modo exagerado.

Com este intuito a ferramenta SimulaCall busca imitar o funcionamento de um *Call Center* o mais fielmente possível por meio da simulação de sistemas. Seu funcionamento consiste na aplicação do Método de Monte Carlo, onde através do uso de números aleatórios uniformemente distribuídos, geram-se os instantes das ligações, segundo a distribuição exponencial. Em seguida o simulador classifica as ligações conforme os tipos de serviços prestados pela empresa e as designam para o primeiro atendente livre, caso não haja nenhum atendente livre a ligação é direcionada para uma fila de espera, onde aguarda o atendimento.

Durante o processo de simulação o simulador analisa a cada instante o comportamento das filas, registrando todas as ocorrências em que o cliente teve que esperar mais do que o limite estipulado, sendo que tal tempo é estipulado pelo próprio administrador. Quando o *Call Center* presta mais de um tipo de serviço e alguns deles têm mais prioridades que outros, o simulador pode realocar os atendentes de um serviço para outro conforme a necessidade de atendimento, isto é, conforme o tempo máximo de tolerância na fila.

1.4 JUSTIFICATIVA

O serviço de atendimento ao consumidor por meio de tele atendimento é complexo, o que o torna impossível de ser descrito em termos de um conjunto de equações matemáticas cuja solução analítica seja viável. Por isso, segundo

Andrade (2004), o uso de técnicas de simulação é utilizado, pois estas possibilitam um estudo e uma experimentação de complexas interações internas, levando a uma melhor compreensão do sistema, conseqüentemente, possibilitando melhorias ao mesmo.

A simulação pode ser usada também para experiências com novas situações, sobre as quais se tem pouca ou nenhuma informação, no intuito de preparar a administração da empresa para o que possa acontecer, ou ainda usá-la como um primeiro teste para delinear novas políticas e regras de decisão para operações do sistema de serviço de atendimento ao consumidor, antes de experimentá-las no sistema real.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em cinco capítulos, sendo que o primeiro apresenta a descrição do problema de atendimento dos serviços prestados pelos *Call Centers*, consta ainda dos objetivos e da justificativa para a escolha do tema.

No capítulo II apresenta-se uma revisão bibliográfica, abordando outros trabalhos que utilizaram simulação para estudar atendimentos a clientes, normas sobre *Call Centers*, alguns conceitos básicos de Teoria das Filas e geração de números aleatórios, além da própria teoria sobre a simulação de sistemas.

No Capítulo III será mostrado à implementação computacional do trabalho e no Capítulo IV será realizado uma exemplificação do funcionamento do programa desenvolvido.

Finalmente, no Capítulo V, apresenta-se conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Segundo Andrade (2004), os postos de atendimento a consumidores devem operar em sintonia para prestar um bom serviço, para isso é necessário aprimorar o desempenho do sistema: dimensionamento da capacidade produtiva, treinamento dos atendentes, rotinas administrativas mais eficientes, etc.

Assim, todos esses elementos são considerados pelo administrador, como as variáveis que levam o sistema a atingir seus objetivos.

O significado de atendimento ao cliente deve despertar o máximo interesse de todos os tipos de profissionais, e não só daqueles que mantém contato direto com o consumidor final. [...] É muito importante cativar os clientes e mantê-los satisfeito. É essencial que eles voltem a consumir nossos produtos, e as pessoas bem sucedidas sabem fazer isto muito bem. E os consumidores sempre têm clara noção de quando são bem ou mal atendidos.[...] Saber servir é prestar um atendimento de acordo com o esperado pelo cliente (SENAC, 2007).

De acordo com Minghelli (2002), atualmente o atendimento ao consumidor via telefone vem crescendo constantemente, tal atividade é desenvolvida modernamente nos chamados “*Call Centers*” ou centros de atendimento, acompanhando forte tendência internacional. Esse setor econômico incorporou dezenas de milhares de trabalhadores nos últimos anos em grandes estruturas de atendimento ao público baseadas no trabalho contínuo de teleatendentes em uma interface relacionando o sistema telefônico e a informática, tornando-se a principal forma de contato e negócios entre a grande maioria das empresas privadas e públicas e seus clientes ou usuários, em ramos críticos da economia, como telefonia, serviços de utilidade pública, bancos, grandes indústrias, grande comércio, entre outros.

Segundo Silva (2006) a década dos anos noventa viu surgir os grandes “*Call Centers*”, em todo o mundo, numa procura desesperada pela “qualidade total”. A legislação de proteção ao consumidor, também de grande relevância, a partir das três últimas décadas, gerou demanda de pronto e constante atendimento aos compradores e usuários de bens e serviços em geral. A venda direta ao

consumidor via “*tele marketing*”, tanto “receptivo”³ quanto “ativo”⁴, por meio de tele atendentes, tornou-se o carro chefe de um grande número de empresas em todo o mundo.

2.1 CALL CENTER

Como já mencionado, denomina-se *Call Center* ou Central de Atendimento ao conjunto de soluções e facilidades (Equipamentos, Sistemas e Pessoal) que tem como objetivo fazer a interface entre os clientes e a empresa, ou seja, *Call Center* é um centro de atendimento dotado de uma central telefônica, onde são atendidas as chamadas de clientes. Segundo Minghelli (2002), a T.I.⁵ foi a peça fundamental no processo que impulsionou os *Call Centers* a atingirem o posto da mais vigorosa arma para manter uma relação de longo prazo com os clientes. Sendo que a T.I. foi a responsável por viabilizar a obtenção, armazenamento e manuseio das informações sobre os clientes.

Ainda segundo Minghelli (2002) a implantação de um *Call Center* trás inúmeros benefícios tanto para a empresa quanto para os clientes. Um *Call Center* bem esquematizado pode trazer mais agilidade, possibilitando ao administrador detectar dificuldades e dúvidas dos clientes. Pode também ocasionar uma otimização da relação custo x benefício, o que acarreta num maior controle de operações críticas, através de novas estratégias organizacionais. Além disso, outro benefício do uso das centrais de atendimento é a ampla cobertura, sendo que esta pode alcançar clientes de longas distâncias, que antes seriam inacessíveis.

³ Call Center receptivo: é o setor do Call Center que apenas recebem chamadas, isto é, os clientes ligam para a central de atendimento.

⁴ Call Center ativo: é o setor do Call Center que apenas realiza as chamadas, isto é, liga para seus clientes.

⁵ Tecnologia da Informação: a T.I. pode ser definida como um conjunto de todas as atividades e soluções providas por recursos de computação

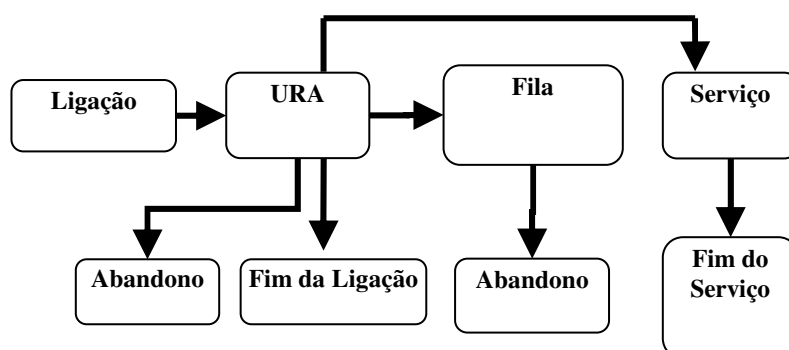
Segundo Yonamine (2006) os *Call Centers* podem ser classificados como ***Call Center ativo*** (que realizam chamadas) e ***Call Center receptivo*** (que recebem chamadas). O *Call Center* estudado neste trabalho se trata de um do tipo receptivo, onde este é movido pelas ligações dos clientes que chegam através de uma distribuição aleatória. Por causa disto, permitir que o cliente conecte-se rapidamente a um operador ou Posto de Atendimento (P.A), é essencial para manter o nível de serviço aceitável e reduzir custos.

O processo envolvido em operações de *Call Centers* receptivos pode ser caracterizado da seguinte forma: Um cliente liga para o *Call Center* em busca de um determinado tipo de serviço. O cliente é direcionado à unidade de resposta audível (URA), que por sua vez dá a opção ao cliente de falar com um atendente ou mesmo executar um auto-serviço. Caso o cliente opte por falar com o atendente surge três situações possíveis, descritas por Yonamine (2006):

- O cliente é diretamente transferido a um operador livre que seja capaz de solucionar suas exigências;
- O cliente é direcionado a uma fila virtual esperando a liberação de um operador para prestar o serviço;
- O cliente abandona a fila antes de ser transferido para um operador.

Tal processo pode ser expresso pela figura 2.1, abaixo:

Figura 2. 1: Processo de um *call center* receptivo



Fonte: Yonamine (2006)

Atualmente milhares de empresas utilizam URA, sendo que esta permite ao usuário uma interação com diversas aplicações, direcionando suas necessidades através de banco de dados que proporcionam inúmeras facilidades para a automatização, personalização e profissionalização do atendimento e principalmente da imagem da empresa. As principais facilidades da URA, de acordo com a Attender (2007) são:

- Gravação de mensagens institucionais;
- Tratamento da fila de espera;
- Gráficos on-line para verificação do horário de pico da central e sincronismo de tela;
- Atendimento automático com menu de navegação e acesso ao banco de dados;
- Emissão de relatórios;
- Atendimento 24 horas e correio de voz;
- Monitoração on-line da central;
- Disparo de mensagens e discagem automática;
- Resposta via FAX.

Attender (2007) afirma ainda que, nos *Call Centers* que usam tecnologias mais avançadas, os operadores contam com terminais de vídeo ou computadores ligados em rede que permitem consultar e efetuar os mais diversos registros, referentes às chamadas e aos atendimentos. São também utilizados softwares que monitoram e gravam as ligações, desta forma controlando o fluxo das chamadas, fornecendo dados para o melhor gerenciamento dos recursos humanos e tecnológicos.

O processo de monitoramento, proposto por Attender (2007), consiste nas seguintes análises:

- **Geração de dados para monitoramento** - Gera dados de clientes na fila de espera, a duração das chamadas e a quantidade de abandono;
- **Análise de Tráfego** - Mede o volume de ligações receptivas ou ativas, o tempo de conversação e os tempos médios de atendimento;
- **Tratamento de Ligações Abandonadas** - Permite que o supervisor estabeleça controle sobre as chamadas abandonadas;
- **Análise de Abandono** – Gera relatórios analíticos e sintéticos, permitindo dimensionar facilmente a quantidade de atendentes disponíveis;
- **Análise da Fila de Espera** - Mede o desempenho, satisfação, tempos de atendimento por tipo de serviço;
- **Atendimento Prioritário** - Permite que qualquer região (DDD, DDI) ou cliente específico seja atendido mais rapidamente, evitando os critérios da fila de espera;
- **Configuração Flexível de Serviços para Grupos de atendimento** - Permitir a criação de diversos serviços (SAC, Televendas, etc.), dentro do mesmo ambiente;
- **Encaminhamento de chamada para operador preferencial/específico** - Permite a transferência de uma determinada chamada para um atendente específico dentro do grupo de atendimento;
- **Conferência** - Permite que o atendente e o supervisor entrem em conferência junto com o cliente;
- **Gravação de ligações** - Permite que o atendente ou supervisor grave as ligações da central de atendimento.

A grande maioria dos *Call Centers* funciona 24 horas por dia. Devido a isso é impossível manter sempre a mesma equipe de atendentes, desta forma

surge à necessidade de criação de turnos. Além dos turnos, há uma série de regulamentações sobre os atendentes, sendo estes referentes à sua jornada de trabalho, o seu local de trabalho e sua saúde em si, todas estas regulamentações estão na NR17.

De acordo com o Ministério do Trabalho e Emprego as NRs são normas regulamentares, impostas pelo Ministério do Trabalho e Emprego e a Secretaria de Inspeção do Trabalho. Estas estabelecem parâmetros mínimos para o trabalho em diversas atividades, sendo que a NR17 estabelece parâmetros mínimos para o trabalho em funções de tele atendimento/tele marketing.

Esta Norma Regulamentadora visa estabelecer parâmetros que permitam a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores, de modo a proporcionar o máximo de conforto, segurança e desempenho eficiente.

Devido ao tipo de estrutura, um *Call Center* se torna um sistema complexo para se analisar. Para suprir esta dificuldade na questão de formulação de horários e do número de posições de atendimento, muitas técnicas de Pesquisa Operacional (PO) são utilizadas, dentre elas, a simulação.

2.2 TÉCNICAS DE PESQUISA OPERACIONAL

Segundo Andrade (2004) a “Pesquisa Operacional” foi utilizada pela primeira vez durante a Segunda Guerra Mundial, criada por um grupo de pesquisadores das forças militares para resolver problemas de estratégia militar. Atualmente, ela está totalmente difundida nas mais diferentes áreas de estudos, no qual uma delas é a formulação de horários de serviços, determinação de demandas, etc.

Ainda segundo Andrade (2004) a Pesquisa Operacional (PO) é um conjunto de técnicas matemáticas utilizadas na resolução de problemas do dia-a-

dia. Os ramos mais importantes da PO são: Programação Matemática (PM), Análise Estatística, Teoria dos Jogos, Teoria das Filas, Simulação de Sistemas. A Programação Matemática divide-se ainda em: Programação Linear (PL), Programação Não-Linear, Programação Dinâmica, Programação Inteira e Otimização Global.

Vários autores desenvolveram em seus trabalhos ferramentas, por meio de técnicas da pesquisa operacional, dentre elas a simulação de sistemas, para a otimização e para o gerenciamento de atividades empresariais.

Barbosa (2002) desenvolveu em seu trabalho um modelo computacional do sistema de agendamento de consultas médicas especializadas no ambulatório médico do hospital do exército, localizado na cidade de Curitiba, que atende a militares da ativa, da reserva (militares aposentados) e seus dependentes, englobando os pacientes do estado do Paraná e parte do estado de Santa Catarina.

O ambulatório estudado apresentava um número excessivo de pacientes em filas de espera por uma consulta especializada, que provocava uma sobrecarga nos médicos e gerava um descontentamento entre os usuários do ambulatório. Sendo que a simulação foi utilizada para a elaboração de um modelo de agendamento e atendimento de consultas médicas especializadas.

Também, Barboza (2000) desenvolveu um trabalho para a elaboração e designação de horários de atendentes em uma central telefônica de atendimento a usuários, que opera 24 horas por dia, por meio de técnicas de pesquisa operacional.

Na primeira fase foi desenvolvido com uso de programação computacional um simulador que retratava o funcionamento de uma central telefônica de atendimentos a clientes com o objetivo de encontrar o número aproximado de atendentes, para cada meia hora do dia. Na segunda fase, foram encontrados os melhores horários de forma a minimizar os custos da empresa e na terceira fase foram designados os horários para atendentes por meio de programação inteira.

Klungle (2005) utilizou em seu trabalho a simulação para o gerenciamento da seguradora *AAA Michigan* que possui mais de 1,6 milhões de sócios. A empresa estudada é constituída de sete *Call Centers* que operam para prover os seguintes serviços aos seus sócios: o atendimento de emergência, consertos, serviço de reivindicação e de viagens.

Nos capítulos 2.3 e 2.4 serão abordadas algumas dessas técnicas de forma abrangente e será apresentado um estudo mais completo sobre Simulação de Sistemas, que é o enfoque principal deste trabalho.

2.3 TEORIA DAS FILAS

Segundo Texeira (2004) “As filas são a praga do mundo atual! Espera-se em fila no banco, na padaria, no ponto de ônibus, no trânsito, no restaurante,...”. As filas são uma situação constante no dia-a-dia do ser humano, que as enfrentam com bom ou mau humor, ou até mesmo com indiferença, sendo que a única saída é se conformar e aceitar a dura realidade da existência delas.

Geralmente elas surgem porque a demanda de serviços é maior que a capacidade de atendimento do sistema.

Capacidade é o potencial produtivo de um sistema. Em geral, capacidade é expressa em termos de volume de saídas do sistema por unidade de tempo. O administrador de serviços preocupa-se com decisões sobre capacidade por várias razões. Primeiro, porque é necessário ter capacidade suficiente para atender clientes quando necessários. Depois, porque questões de capacidade afetam o desempenho dos custos (tanto em investimento como em manutenção de instalações) dos sistemas de operações, afetam a maior ou menor facilidade de programar a produção de serviços e também afetam o desempenho em termos de tempos (velocidade da prestação do serviço e capacidade de cumprir prazos) que o sistema apresenta (CORRÊA & GIANESI, 1994)

A Teoria das Filas é um segmento da Pesquisa Operacional (PO) que explora os relacionamentos entre a demanda de um sistema de atendimento e os atrasos sofridos pelos usuários. Também chamada de Teoria da Congestão, utiliza-se de conceitos básicos de processos estocásticos (probabilidade) e de

matemática aplicada para analisar os fenômenos de formação de filas e suas características. Ela estuda os fenômenos da formação de filas de solicitantes de serviços, fornecidos por um determinado recurso. Permite ainda estimar importantes medidas de desempenhos, podendo dessa forma dimensionar um determinado sistema segundo a demanda dos seus clientes, evitando desperdícios ou transtornos.

A abordagem matemática de filas se iniciou no princípio do Século XX (1908) em Copenhague, Dinamarca, com A. K. Erlang, considerado o pai da Teoria das Filas, quando trabalhava em uma companhia telefônica estudando o problema de redimensionamento de centrais telefônicas. Foi somente a partir da segunda guerra mundial que a teoria foi aplicada a outros problemas de filas. Apesar do enorme progresso alcançado pela teoria, inúmeros problemas não são adequadamente resolvidos por causa de complexidades matemáticas. (ANDRADE, 2004).

2.3.1 Características dos Processos de Filas

Segundo Costa (2004), na maioria dos casos, cinco características básicas de processos de filas fornecem uma descrição adequada de um sistema de filas, sendo elas:

- Chegadas de Clientes;
- Padrões de Serviço;
- Disciplina das Filas;
- Capacidade do Sistema;
- Estrutura do Sistema.

2.3.1.1 Chegadas de Clientes

Cada sistema composto por filas tem uma característica particular, pois a quantidade de clientes que chega a ele é geralmente aleatória, ou seja, não segue

uma regularidade. Os processos de chegada de clientes são estocásticos, seguem leis de probabilidade.

As chegadas dos clientes podem ser tratadas de duas formas: analisando os tempos decorridos entre as chegadas sucessivas (distribuição exponencial) ou o número de chegadas durante um tempo com duração pré-determinada (distribuição de Poisson). A análise dos tempos decorridos entre duas chegadas ou do processo de chegada é equivalente.

Admitindo que n usuários cheguem ao sistema, os instantes de chegada são denotados por t_i , com $i = 1, 2, \dots, n$, logo o tempo decorrido entre a chegada i e a chegada $i+1$ é dada por $x_i = t_i - t_{i-1}$, sendo $t_0 = 0$ e $t_i \geq 0$. Desta forma obtêm-se, n tempos decorridos entre as chegadas consecutivas: x_1, x_2, \dots, x_n , sendo t o tempo total, tem-se:

$$t = \sum_{i=1}^n x_i \quad 2.1$$

Logo, a razão média entre os tempos decorridos entre as chegadas consecutivas, λ é calculada dividindo-se o número de chegadas, n , pelo tempo total, ou seja:

$$\lambda = \frac{n}{t} \quad 2.2$$

A distribuição de probabilidade mais comumente utilizada para descrever o processo de chegadas dos clientes é a distribuição exponencial. Como citado anteriormente, tal distribuição mede o intervalo de tempo X entre dois sucessos consecutivos de uma distribuição de Poisson, ou seja, o intervalo de tempo entre duas ligações consecutivas, sendo que a função densidade de probabilidade da distribuição exponencial é dada por:

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}, \quad x \geq 0 \quad 2.3$$

onde:

$e \rightarrow$ é o número de Euler, cujo valor é 2,7183..., sendo que este serve de base para os logaritmos neperianos.

$x \rightarrow$ é o tempo entre a chegada de dois clientes consecutivos.

$\lambda \rightarrow$ é a taxa média de chegadas de clientes por unidade de tempo.

Se a função exponencial for integrada entre os limites de 0 e x , o resultado será a função distribuição acumulada que representa a probabilidade de o tempo X entre duas chegadas sucessivas ser menor ou igual a x .

$$\int_0^x \lambda e^{-\lambda x} dx = P[X \leq x] = 1 - e^{-\lambda x} \quad 2.4$$

Para que o processo de chegadas de clientes num determinado sistema possa ser caracterizado como uma distribuição de probabilidade, este tem que estar no chamado “estado estacionário”, onde a chegada é independente do tempo. Ao contrário, quando a distribuição de um evento varia com o tempo, diz-se que o sistema está em estado “não-estacionário” ou “transitório”

2.3.1.2 Padrões de Serviço

O atendimento aos clientes que chegam ao sistema depende de dois fatores: (a) disponibilidade dos servidores, pois todos podem estar ocupados ou não; e (b) disponibilidade de usuários para serem atendidos. Em geral, existem momentos em que os atendentes não operarão por falta de clientes, e ocasiões em que os clientes terão que esperar, por não encontrarem nenhum atendente livre.

Da mesma forma que a chegada dos clientes ao sistema ocorrem de maneira aleatória, o seu atendimento também ocorre de maneira aleatória, isto é, segue uma distribuição de probabilidade. Na maioria dos casos, quando se trabalha com filas, o atendimento é regido por uma distribuição Exponencial, sendo que a quantidade média de atendimentos por unidade de tempo considerada é dada pela letra grega μ , com isso tem-se a função densidade de probabilidade dada por:

$$f(x) = \mu e^{-\mu x}, \quad x \geq 0 \quad 2.5$$

O tempo de atendimento, sendo regido por uma distribuição Exponencial, tem seu valor médio dado por:

$$E(x) = \frac{1}{\mu} \quad 2.6$$

No entanto, segundo Costa (2004), o processo de serviços pode depender do número de clientes esperando pelo serviço. Um servidor pode trabalhar mais rápido quando a fila está grande ou ficar confuso, atrapalhado e com isso ficar mais lento, isto é, a média de atendimento num dado intervalo de tempo, pode se alterar com o passar do tempo e dependendo do servidor que se encontra no sistema. Devido a isso, os serviços podem ser estacionários ou não-estacionários com respeito ao tempo, por exemplo, o aprendizado pode ser considerado um fator de produtividade, de forma que, o servidor pode se tornar mais eficiente quando adquirir mais experiência.

Quando a taxa de chegada (λ) for maior que a taxa de atendimento (μ), ou seja, $\lambda > \mu$, ocorre um congestionamento. Entende-se como índice de congestionamento (ou taxa de utilização) do sistema, a razão entre a demanda média num certo intervalo de tempo t e a capacidade média de um atendimento do sistema neste intervalo. Este índice é de vital importância no estudo de um sistema de atendimento, fornecendo a idéia da carga de trabalho dos atendentes, ou ainda a ocorrência de filas indefinidas, fora de controle.

2.3.1.3 Disciplina das Filas

A disciplina de filas refere-se à maneira como os clientes são atendidos, ou serão escolhidos para entrar em serviço após uma fila ser formada. Segundo Andrade (2004), “a disciplina da fila é um conjunto de regras que determinam a ordem em que os clientes serão atendidos”.

Esta disciplina de atendimentos de clientes pode ser de diferentes maneiras, onde as principais são:

- **FCFS (First-Come First-Served) ou FIFO**

A maioria das filas seguem a disciplina FCFS, isto é, o primeiro a chegar também é o primeiro a ser atendido.

- **LCFS (Last-Come First-Sarved) ou LIFO**

O último que chega é o primeiro a ser atendido, por exemplo, em sistemas de controle de estoque o item mais recente é o mais fácil de ser apanhado.

- **RSS (Seleção Aleatória por Serviço)**

Neste tipo de disciplina, os clientes são escolhidos de forma aleatória, sem nenhuma sequência lógica de chegada.

- **PR (Prioridade)**

Existem duas situações gerais em disciplinas de prioridade. No primeiro caso, que é chamado de preemptivo, o cliente com a mais alta prioridade é permitido entrar no serviço independentemente de outro cliente com menor prioridade estar sendo servido, de forma que, o cliente com menor prioridade é interrompido e tem seu trabalho reiniciando mais tarde. Na segunda situação de prioridade, chamado caso não-preemptivo, os clientes com mais alta prioridade vão para o início da fila, entram em serviço quando o cliente que está sendo atendido deixa o sistema, mesmo que ele tenha uma prioridade baixa.

- **Geral**

Quando uma determinada fila não segue nenhuma das disciplinas citadas acima, diz-se que ela segue uma disciplina geral, específica, que pode ser uma norma especial do sistema que a comporta.

A regra de seqüenciação mais socialmente aceita é a regra “FIFO” (do inglês First In, First Out, ou “o primeiro a chegar é o primeiro a ser atendido”), provavelmente a mais usada. Entretanto, por conveniência ou por especial deferência a um grupo de clientes, o sistema de serviços pode optar por subverter formalmente a regra FIFO para privilegiar outra. Alguns bancos optam por dedicar um caixa especial que, normalmente atende clientes usuais segundo a regra FIFO, mas, quando alguém que seja idoso, ou portador de deficiência ou uma mulher grávida chega, ganha imediatamente prioridade na fila (CORRÊA & GIANESI, 1994).

Outro fator fundamental na disciplina das filas quando esta é formada por seres humanos é o comportamento dos seus integrantes, fator este que depende do aspecto cultural, social e econômico dos clientes.

A análise do problema de disciplina na fila depende muito do aspecto cultural do cliente. Nota-se que, em certos países, os próprios indivíduos policiam o comportamento de seus pares. Em outros, como em algumas regiões do Brasil, a fiscalização sobre o respeito a determinadas regras de conduta é freqüentemente delegada a algum tipo de autoridade. No caso da fila de espera pela prestação de um serviço, normalmente as “autoridades” consideradas competentes e responsáveis são os servidores. Esta constatação resulta que os gerentes dos sistemas de serviços devem garantir a justiça quanto à seqüência de atendimento entre clientes na fila (CORRÊA & GIANESI, 1994, 170).

O processo decisório dos clientes é outro fator que interfere na disciplina das filas, em primeiro lugar os clientes decidem se vão ou não entrar na fila, que em geral baseia-se em seus níveis de disposição de espera e pelas dimensões dela. Em segundo lugar, em cada momento os clientes decidem se estão dispostos a permanecer na fila ou se preferem retirar-se do sistema, provocando um distúrbio na forma de atendimento.

2.3.1.4 Capacidade do Sistema

Um cliente é proveniente de uma população. Quando esta população é muito grande diz-se que ela é infinita para efeitos práticos, e a chegada de um novo cliente na fila não afeta a taxa média de chegadas de clientes (λ). Por outro lado, quando a população é pequena, ao entrar um novo cliente no sistema, isso provoca uma alteração considerável, pois existem limitações quanto à quantidade de espaço na fila, ou seja, ela tem um limite máximo de clientes em espera. Quando isto ocorre, nenhum novo cliente poderá entrar na fila, pelo menos não enquanto, um dos clientes que lá esteja tenha sido atendido pelo sistema, disponibilizando assim um lugar.

O fato da fila ser finita ou não é relevante no estudo da capacidade do sistema. O tamanho médio de uma fila é de grande importância do ponto de vista dos clientes, sendo que estes não se sentem bem ao terem que ingressar numa fila muito longa, pois esta visão gera a impressão de demora do atendimento.

2.3.1.5 Estrutura do Sistema

Os sistemas de filas podem ter estruturas muito variadas, e cada caso exige um estudo analítico diferente. A estrutura mais simples é o sistema formado por uma fila única e um único servidor. O atendimento é individual, ininterrupto e é realizado em sua grande maioria de acordo com a ordem de chegada dos clientes.

Uma segunda estrutura de filas é o modelo com n servidores em série, onde cada cliente é atendido pelo primeiro servidor e posteriormente atendido pelo segundo servidor, e assim até ser atendido pelo n -ésimo servidor, podendo ocorrer à formação de filas em todos os servidores, cada uma com um comportamento particular.

Pode ocorrer também um sistema com n servidores em paralelo, onde estes atendem os clientes de uma fila única, sendo que neste caso, cada cliente só é atendido por um servidor.

Outra estrutura de fila bem comum é a mista, onde pode haver servidores em série e servidores em paralelo num mesmo sistema.

2.3.2 Modelos de Filas

2.3.2.1 Notações

A notação de processos de filas mais utilizada atualmente de acordo com Kendall (1953) apud Guimarães (2005) é descrita por uma série de símbolos dispostos da seguinte maneira A, B, m, k, Z, onde estes símbolos indicam:

- **A**: indica a distribuição de probabilidade de interchegadas de clientes;
- **B**: Padrão de serviço de acordo com uma distribuição de probabilidade para o tempo de serviço;
- **m**: Número de canais de servidores em paralelos;
- **k**: Capacidade do sistema;
- **Z**: A disciplina da fila.

Alguns símbolos usados são mostrados na tabela 2.1

Tabela 2. 1: Notação de Fila – A/B/m/k/M

Características	Símbolo	Explicação
Distribuição de Tempo de Interchegadas (A) e Distribuição de Tempo de Serviço (B)	M	Exponencial ou Markoviano
	D	Determinístico
	E_k	Tipo k-Erlang (k=1,2,...)
	H_k	Hiperexponencial
	PH	Tipo Fase
	G	Geral
Número Paralelo de Servidores (m)	$1, 2, \dots, \infty$	
Restrição na Capacidade do Sistema (k)	$1, 2, \dots, \infty$	
Disciplina da Fila (Z)	FCFC (ou FIFO)	First Come First Served
	LCFS	Last Come First Served
	RSS	Seleção Aleatória por Serviço
	PR	Prioridade
	GD	Disciplina Geral

Fonte: Bronson (1985)

Quando o sistema tem capacidade ilimitada, e sua disciplina é do tipo FIFO, podem ser utilizados apenas os três primeiros símbolos. Com essa nomenclatura os modelos de filas podem ser representados por símbolos A/B/m.

2.3.2.2 Parâmetros de Operações das Filas

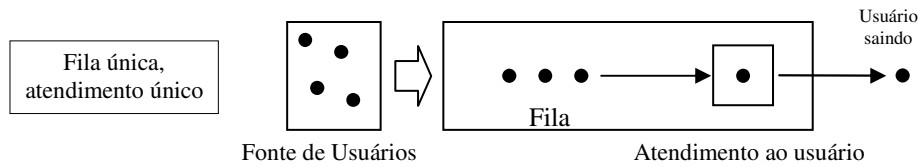
Prado (2004) define como parâmetros de operação das filas as variáveis dependentes que são envolvidas no processo e que expressam o desempenho do sistema, dado suas características de formação. Estes parâmetros são:

1. Ritmo médio de chegada (λ): é o Número médio de clientes que chegam ao sistema por unidade de tempo.
2. Intervalo médio de chegadas (IC): é o intervalo de tempo entre a chegada de dois clientes consecutivos, dada por: $IC = \frac{1}{\lambda}$
3. Ritmo médio de atendimento (μ): é o número médio de clientes que são atendidos por unidade de tempo.
4. Tempo médio de Atendimento (TA): é a duração média dos atendimentos. $TA = \frac{1}{\mu}$
5. Quantidade de atendentes (c): é a quantidade de atendentes ou o número de servidores.
6. Fator de utilização (ρ): é o percentual de utilização do sistema, isto é, o percentual de tempo que todos os canais de serviço estão ocupados, dados por: $\rho = \frac{\lambda}{c\mu}$.
7. Tempo médio na fila (TF): é o tempo médio que os clientes ficam na fila aguardando para serem atendidos.

8. Tempo médio no sistema (TS): é o tempo médio de permanência do cliente no sistema, desde sua chegada, ou seja, seu ingresso na fila de espera, até o termino do serviço, liberação do cliente.
9. Número médio de clientes na fila (NF): é a quantidade média de clientes na fila.
10. Número médio de clientes no sistema (NS): é a quantidade média de clientes que permanecem no sistema, incluindo clientes que permanecem na fila e os clientes que estão sendo atendidos.
11. Probabilidade de existir n clientes no sistema $[P_n(t)]$: é a probabilidade de que uma certa quantidade n de clientes estejam no sistema num dado instante de tempo t , sendo n as quantidades de clientes na fila mais os que estão sendo atendidos.
12. Probabilidade de existir w clientes na fila $[P_w(t)]$: é a probabilidade de que uma certa quantidade w de clientes estejam na fila, isto é, neste caso não se considera os clientes que estão sendo atendidos pelo sistema.

2.3.2.3 Modelo $M/M/1/\infty/FIFO$

O modelo $M/M/1/\infty/FIFO$, ou simplesmente $M/M/1$ segundo a notação de Kendall, é um modelo de população infinita de fila única e um único servidor que segue a disciplina FIFO, onde a chegada de clientes e o atendimento dos mesmos é regida pela distribuição de probabilidade de Poisson ou Exponencial Negativa, conforme a figura 2.2;

Figura 2. 2: Esquema Funcional do Modelo M/M/1

Fonte: Adaptado de Bronson (1985)

Segundo Costa (2003), considerando-se que um sistema seja estável, onde a taxa média de chegadas de clientes (λ) é menor que a taxa média de atendimentos (μ), ou seja, o taxa de utilização do sistema é $\rho < 1$, pode-se apresentar as equações para o cálculo dos parâmetros do modelo, como segue:

Sendo $P_n(t)$ a probabilidade de haver n clientes no sistema no instante t , e considerando que λ é a taxa média de chegadas de clientes ao sistema e μ a taxa média de atendimentos num dado intervalo de tempo.

Admitindo inicialmente que $n \neq 0$, pode-se analisar o comportamento da fila dentro de um intervalo dt infinitamente pequeno, isto é, $dt \rightarrow 0$.

Então, supondo que existam n clientes no sistema no instante $t + dt$, dispostos por várias combinações de eventos no intervalo $[t, t + dt]$, como segue:

1. Há n clientes no sistema no instante t , não haver chegado nenhum novo cliente no intervalo dt e não haver a liberação de nenhum cliente nesse intervalo.
2. Haver $n+1$ clientes no sistema no instante t , não haver chegado nenhum novo cliente no intervalo dt e haver a liberação de um cliente nesse intervalo.
3. Haver $n-1$ clientes no sistema no instante t , houver a chegada de um novo cliente no intervalo dt e não houver a liberação de nenhum cliente nesse intervalo.
4. Todas as demais combinações de chegadas e atendimentos de clientes no sistema podem ser consideradas desprezíveis, já que, pelo

fato do intervalo de tempo dt ser muito pequeno a probabilidade de mais de um cliente chegar ou ser atendido neste intervalo é nula.

Assim considerando apenas as três primeiras combinações têm-se as seguintes probabilidades:

- Tomando $n \geq 1$

- Nenhuma chegada e nenhuma liberação de clientes no intervalo dt :

$$\begin{aligned} P_n(t) &= (1 - \lambda dt)(1 - \mu dt) \\ P_n(t) &= 1 - \lambda dt - \mu dt + \lambda\mu dt^2 \\ P_n(t) &= 1 - (\lambda + \mu)dt + \lambda\mu dt^2 \end{aligned} \quad 2.7$$

como $dt \rightarrow 0$ logo $\lambda\mu dt^2 \cong 0$, portanto,

$$P_n(t) \cong 1 - (\lambda + \mu)dt \quad 2.8$$

- Uma chegada no intervalo dt e nenhuma liberação neste intervalo:

$$\begin{aligned} P_{n-1}(t) &= (\lambda dt)(1 - \mu dt) \\ P_{n-1}(t) &= \lambda dt - \lambda\mu dt^2 \end{aligned} \quad 2.9$$

como $dt \rightarrow 0$ logo $\lambda\mu dt^2 \cong 0$, portanto,

$$P_{n-1}(t) = \lambda dt \quad 2.10$$

- Nenhuma chegada de clientes no intervalo dt e uma liberação nesse intervalo:

$$\begin{aligned} P_{n+1}(t) &= (1 - \lambda dt)(\mu dt) \\ P_{n+1}(t) &= \mu dt - \lambda\mu dt^2 \end{aligned} \quad 2.11$$

Combinando as probabilidades acima, pode-se escrever que a probabilidade de haver n clientes no instante $t + dt$ é dada por:

$$\begin{aligned} P_n(t + dt) &= P_n(t)[1 - (\lambda + \mu)dt] + P_{n-1}(t)[\lambda dt] + P_{n+1}(t)[\mu dt] \\ P_n(t + dt) &= P_n(t) - (\lambda + \mu)dt P_n(t) + \lambda dt P_{n-1}(t) + \mu dt P_{n+1}(t) \\ P_n(t + dt) - P_n(t) &= -(\lambda + \mu)dt P_n(t) + \lambda dt P_{n-1}(t) + \mu dt P_{n+1}(t) \end{aligned}$$

dividindo tudo por dt

$$\begin{aligned}\frac{P_n(t+dt)-P_n(t)}{dt} &= \frac{-(\lambda+\mu) dt P_n(t)}{dt} + \frac{\lambda dt P_{n-1}(t)}{dt} + \frac{\mu dt P_{n+1}(t)}{dt} \\ \frac{P_n(t+dt)-P_n(t)}{dt} &= -(\lambda+\mu) P_n(t) + \lambda P_{n-1}(t) + \mu P_{n+1}(t)\end{aligned}\quad 2.12$$

- Tomando $n = 0$

- Não haver nenhum cliente no instante t e não haver chegado nenhum no intervalo dt ;

$$P_0(t) = (1 - \lambda dt) \quad 2.13$$

- Haver um elemento no instante t e ter sido liberado dentro do intervalo dt ;

$$P_1(t) = \mu dt \quad 2.14$$

Combinando as duas probabilidades acima (equações 2.13 e 2.14), pode-se escrever que a probabilidade de não haver clientes no sistema no instante $(t+dt)$ é:

$$\begin{aligned}P_0(t+dt) &= P_0(t)[1 - \lambda dt] + P_1(t)[\mu dt] \\ P_0(t+dt) - P_0(t) &= -\lambda dt P_0(t) + \mu dt P_1(t)\end{aligned}$$

dividindo tudo por dt

$$\begin{aligned}\frac{P_0(t+dt)-P_0(t)}{dt} &= \frac{-\lambda dt P_0(t)}{dt} + \frac{\mu dt P_1(t)}{dt} \\ \frac{P_0(t+dt)-P_0(t)}{dt} &= -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t)\end{aligned}\quad 2.15$$

Aplicando limite, com $dt \rightarrow 0$, tem-se que o primeiro membro da equação 2.12 e da equação 2.15, são por definição as derivadas de $P_n(t)$ e $P_0(t)$ em relação ao tempo, ou seja:

$$\begin{aligned}\lim_{dt \rightarrow 0} \frac{P_n(t+dt)-P_n(t)}{dt} &= \lim_{dt \rightarrow 0} -(\lambda+\mu) P_n(t) + \lambda P_{n-1}(t) + \mu P_{n+1}(t) \\ \frac{d}{dt} P_n(t) &= -(\lambda+\mu) P_n(t) + \lambda P_{n-1}(t) + \mu P_{n+1}(t), \quad n \geq 1\end{aligned}\quad 2.16$$

e

$$\begin{aligned}\lim_{dt \rightarrow 0} \frac{P_0(t+dt)-P_0(t)}{dt} &= \lim_{dt \rightarrow 0} -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t) \\ \frac{d}{dt} P_0(t) &= -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t)\end{aligned}\quad 2.17$$

Obtendo-se um sistema de equações diferenciais. Para atingir o estado estável, a distribuição de probabilidade $P_n(t)$ passa a ser constante e, portanto, não devem mais depender do tempo, quando $t \rightarrow \infty$, ou seja, $\lim_{t \rightarrow \infty} P_n(t) = \pi_n$ e da mesma forma: $\lim_{t \rightarrow \infty} P_0(t) = \pi_0$. A derivada em relação ao tempo se anula, isto é: $\lim_{t \rightarrow \infty} P'_n(t) = 0$, com isso temos as equações de balanceamento da Teoria das Filas:

$$-(\lambda + \mu) \pi_n + \lambda \pi_{n-1} + \mu \pi_{n+1} = 0, \quad (n \geq 1) \quad 2.18$$

$$-\lambda \pi_0 + \mu \pi_1 = 0 \quad 2.19$$

A solução do sistemas será, reescrevendo a equação 2.19:

$$\pi_1 = \frac{\lambda}{\mu} \pi_0 \quad 2.20$$

Fazendo $n=1$ na equação 2.18, tem-se:

$$\begin{aligned} -(\lambda + \mu) \pi_1 + \lambda \pi_0 + \mu \pi_2 &= 0 \\ \mu \pi_2 &= -\lambda \pi_0 + (\lambda + \mu) \pi_1 \end{aligned} \quad 2.21$$

e substituindo a equação 2.20 na 2.21, tem-se:

$$\begin{aligned} \mu \pi_2 &= -\lambda \pi_0 + (\lambda + \mu) \frac{\lambda}{\mu} \pi_0 \\ \mu \pi_2 &= -\lambda \pi_0 + \frac{\lambda \cdot \lambda}{\mu} \pi_0 + \lambda \pi_0 \\ \pi_2 &= \frac{\lambda^2}{\mu^2} \pi_0 \end{aligned} \quad 2.22$$

Analogamente, fazendo $n=3,4,\dots$ na equação 2.18 e substituindo os valores já obtidos, vem que:

$$\begin{aligned} \pi_3 &= \frac{\lambda^3}{\mu^3} \pi_0 \\ &\vdots \\ \pi_n &= \frac{\lambda^n}{\mu^n} \pi_0 \quad \text{ou} \quad \pi_n = \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n \pi_0 \end{aligned} \quad 2.23$$

A quantidade média de clientes no sistema pode ser calculada por:

$$\bar{L} = \sum_{n=0}^{\infty} n \cdot \pi_n \quad 2.24$$

Outra maneira de se obter este valor é considerando a probabilidade π_0 que pode ser calculada através da equação:

$$\pi_0 + \pi_1 + \dots + \pi_n + \dots = 1 \quad 2.25$$

onde

$$\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^0 \pi_0 + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^1 \pi_0 + \dots + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \pi_0 + \dots = 1 \quad 2.26$$

dividindo toda a equação por π_0 , tem-se:

$$\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^0 + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^1 + \dots + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n + \dots = \frac{1}{\pi_0} \quad 2.27$$

logo tem-se que:

$$\pi_0 = \frac{1}{1 + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right) + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n + \dots} \quad 2.28$$

Se $\frac{\lambda}{\mu} < 1$ a série geométrica do denominador da equação 2.28 apresenta

soma finita e igual à :

$$\frac{1}{\left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right)} \quad 2.29$$

logo

$$\pi_0 = \frac{1}{\frac{1}{\left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right)}} = 1 - \frac{\lambda}{\mu} \quad 2.30$$

como $\frac{\lambda}{\mu} = \rho$, tem-se:

$$\pi_0 = 1 - \rho \quad 2.31$$

com isso a distribuição π_n (equação 2.23) fica:

$$\begin{aligned} \pi_n &= \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \pi_0 \\ \pi_n &= \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right) \\ \pi_n &= (\rho)^n (1 - \rho) \end{aligned} \quad 2.32$$

onde $n \geq 0$ e $\frac{\lambda}{\mu} < 1$, que é uma Distribuição Geométrica, que mede o número de tentativas tipo Bernoulli necessárias para alcançar o primeiro sucesso.

Sendo que esta distribuição tem esperança e variância dada por:

$$\bar{L} = E(n) = \frac{\rho}{1 - \rho} \quad 2.33$$

e

$$V(n) = \frac{\rho}{(1 - \rho)^2} \quad 2.34$$

A esperança da Distribuição Geométrica, fornece o valor esperado da quantidade de clientes no sistema, ou seja, número médio de clientes no sistema é:

$$NS = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} \quad 2.35$$

Só existe fila quando há mais de um usuário no sistema. Quando isto ocorre, a quantidade de usuários na fila é igual à quantidade de usuários no sistema menos um, pois este está sendo atendido. Então a quantidade esperada de clientes no sistema e na fila será:

$$\bar{L}_q = E[q] = \sum_{n=2}^{\infty} (n-1)\pi_n = \frac{\rho^2}{1 - \rho} \quad 2.36$$

ou ainda, o número médio de clientes na fila:

$$NF = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} \quad 2.37$$

Para o tempo de espera na fila, tem-se que o valor esperado dado por:

$$\bar{W}_q = E[W_q] = \frac{\rho}{\mu(1 - \rho)} = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} \quad 2.38$$

logo, o tempo de espera no sistema será:

$$TS = \frac{1}{\mu - \lambda} \quad 2.39$$

Além destas equações, J.D.C Little demonstrou que para um sistema estável de filas, tem-se:

- O número médio de clientes na fila (NF) tem a seguinte relação com o tempo médio de espera na fila (TF):

$$NF = \lambda \cdot TF \quad 2.40$$

- O número médio de clientes no sistema pode ser caracterizado pelo tempo médio gasto no sistema por cliente.

$$NS = \lambda TS \quad 2.41$$

- Por definição, o tempo de espera na fila (TF) é igual ao tempo médio gasto no sistema (TS) menos o tempo médio gasto no atendimento, ou seja:

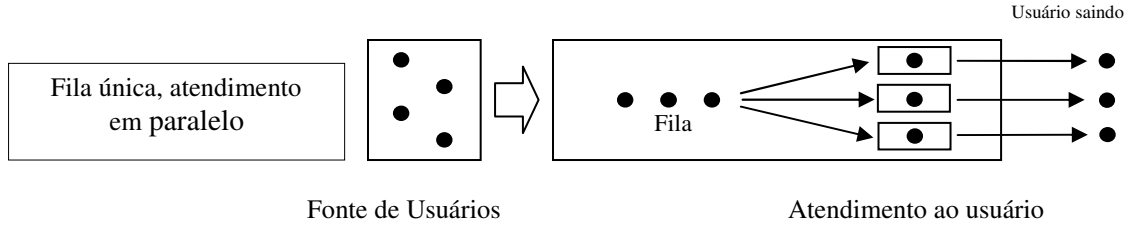
$$TF = TS - \frac{1}{\mu} \quad 2.42$$

- O número médio de clientes na fila pode ser obtido através do número médio de pessoas no sistema, através de:

$$NF = NS - \frac{\lambda}{\mu} \quad 2.43$$

2.3.2.4 Modelo M/M/c

Este modelo é um de fila única e diversos servidores, mais propriamente c servidores em paralelo, cuja disciplina da fila é FIFO e a mesma infinita. A chegada e o atendimento são marcovianos (o que é o mesmo que dizer que seguem a distribuição de Poisson ou a Exponencial Negativa), conforme a figura 2.3:

Figura 2. 3: Esquema do Modelo de Fila M/M/c

Fonte: Adaptado de Bronson (1985)

Considerando que o sistema seja estável, onde a taxa média de chegadas de clientes (λ) é menor que a taxa média de atendimentos ($c\mu$), ou seja, $\rho = \frac{\lambda}{c\mu}$, as equações diferenciais do processo são obtidas de maneira análoga às do modelo M/M/1. Assim, obtêm-se os resultados:

$$\pi_0 = \left[\sum_{j=0}^{c-1} \frac{(c\rho)^j}{j!} + \frac{(c\rho)^c}{c!(1-\rho)} \right]^{-1} \quad 2.44$$

e

$$\pi_n = \begin{cases} \frac{(c\rho)^n}{n!} \pi_0, & 1 \leq n \leq c \\ \frac{(c\rho)^n}{c^{n-c} c!} \pi_0 = \frac{c^n \rho^n}{c!} \pi_0, & n > c \end{cases} \quad 2.45$$

Da mesma forma, tem-se que o valor esperado da quantidade de clientes no sistema será:

$$\bar{L} = E[n] = \frac{(c\rho)^{c+1}}{(c-1)! \sum_{j=0}^c \frac{(c\rho)^j}{j!} [(c-j)^2 - j]} \quad 2.46$$

Já o valor esperado para o número de clientes na fila é:

$$\bar{L}_q = E[q] = \frac{\rho(c\rho)^c}{(1-\rho)^2 c!} \pi_0 \quad 2.47$$

Tem-se também que o tempo médio de espera na fila, é dado por:

$$\bar{W}_q = E[W_q] = \frac{(c\rho)^c}{(1-\rho)^2 \mu c} \pi_0 \quad 2.48$$

E por fim o tempo médio de espera no sistema é dado por:

$$\overline{W} = \overline{W}_q + \frac{1}{\mu} \quad 2.49$$

2.4 SIMULAÇÃO

Segundo Andrade (2004) Simulação de um sistema é a operação de um modelo que representa esse sistema, respeitando-se todos as regras e condições reais a que o sistema está submetido. Simular significa imitar o funcionamento de um sistema real a partir de um modelo. A simulação permite realizar uma série de manipulações no sistema, manipulações estas que seriam inviáveis no sistema real, devido aos inúmeros fatores que interferem, tais como custo, tempo, mão de obra, etc.

Simulação de sistemas é um método numérico de resolução de problemas. Consiste na observação ao longo do tempo do desempenho de um modelo que representa um sistema real definido a partir do problema a ser resolvido. Essas observações são efetuadas para cada experimentação ou corrida de simulação representando diferentes soluções ou cenários (políticas de operação, configurações do sistema, etc.). Dessa forma, a simulação de sistemas pode ser vista como uma técnica de seleção da melhor solução por meio de tentativas e erros (PERIN, 1999).

Segundo Andrade (2004), o uso do termo “simulação”, tem sua origem em um trabalho que foi realizado em 1940 por Von Neumann e Ulam, que associaram a expressão “análise de Monte Carlo” a uma técnica matemática que utilizaram para resolver problemas de blindagem em reatores nucleares. A simulação teve sua grande evolução relacionada à evolução dos computadores, evolução esta relacionada tanto aos hardwares como aos softwares.

Há inúmeras razões para justificar o uso da simulação, tais como a dificuldade em observar um processo real, a complexidade do sistema que o torna impossível de ser representado por um conjunto de equações matemáticas, de solução analítica viável.

Arton (1998) afirma em seu trabalho que nos últimos anos surgiram inúmeras ferramentas de simulação para a área de centrais de atendimento, ou seja, para os *call centers*. Segundo ele, há dois motivos importantes para que isso ocorresse. O primeiro é que *call centers* são extremamente complexos e demasiadamente importantes para serem gerenciados por “intuição” ou “sensibilidade”. O segundo motivo é que houve a criação de vários softwares específicos para a realização de simulação em *call center*, ou seja, projetados especialmente para centrais de atendimento, ao contrário da maioria dos outros softwares que são mais genéricos e requerem muito mais conhecimento para a sua utilização.

Além dessas razões a simulação possibilita o estudo de algumas variações no meio ambiente verificando seus efeitos em todo o sistema, facilitando novas experiências que os administradores queiram realizar. Em centrais de atendimento a simulação possibilita a geração de ligações “virtuais” da mesma maneira que ocorrem na realidade, isto é, de maneira aleatória. Além disso, uma vez que o modelo está definido, o mesmo pode ser usado várias vezes, para identificar possíveis eventualidades no sistema e também dar apoio às decisões importantes sobre futuras mudanças no cenário de atendimento; logo, de acordo com o tipo de problema o modelo de simulação pode ser:

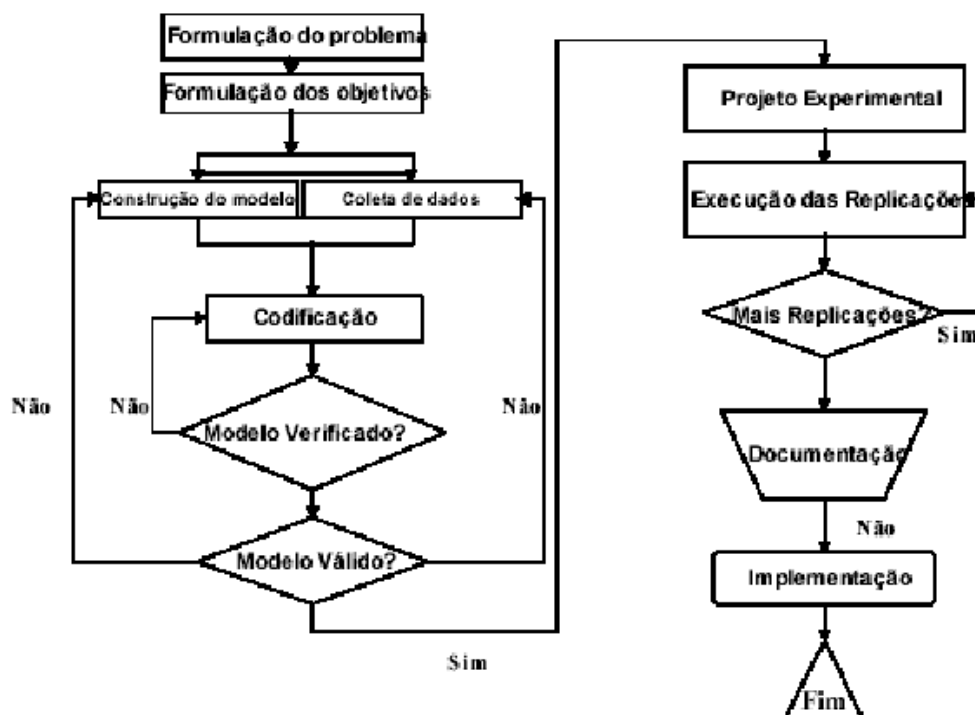
- **Previsão:** usada para prever ocorrências futuras, baseadas nas suposições de seu comportamento atual e ao longo do tempo.
- **Investigação:** usada para buscar informações sobre o comportamento do sistema.
- **Comparação:** Usada para avaliar os efeitos de mudanças nas variáveis de controle.

2.4.1 Fases na Realização de uma Simulação

Segundo Schappo (2006), para a realização de estudos utilizando simulação, deve-se seguir uma seqüência de etapas, que são iguais na maioria das bibliografias. Um estudo de simulação consiste nos seguintes passos, conforme a figura 2.4:

1. Formulação do problema
2. Formulação dos objetivos
3. Coleta de dados
4. Modelagem e codificação
5. Verificação e validação do modelo
6. Experimentação e análise
7. Documentação e recomendações

Figura 2. 4: Fases para a Realização de uma Simulação



Fonte: Schappo (2006)

2.4.1.1 Formulação do Problema e dos Objetivos

Andrade (2004) afirma que todo estudo que envolva simulação deve ser iniciado com a formulação do problema, em seguida deve-se definir os objetivos da simulação, compreendendo alguns pontos importantes que serão tratados no decorrer dos estudos, sendo que tais pontos podem ser:

- Objetivo do sistema a ser modelado;
- Qual o propósito da simulação no sistema em questão;
- Quais são as questões específicas a serem respondidas pelo estudo;
- Quais serão as medidas de desempenho a serem utilizadas para avaliar a eficácia do sistema;
- Qual a rotina do modelo e configuração do sistema a ser modelado;
- Quais as ferramentas a serem utilizadas na simulação;
- Qual o cronograma para realização do estudo e quais os recursos necessários.

Na maioria das vezes, quando se trata de uma simulação que envolva *Call Center*, os principais objetivos almejados pelos administradores são a experimentação de situações futuras, situações inesperadas, isto é, ocasiões que não estavam planejadas. E como exemplo, pode ocorrer um aumento ou uma queda drástica do número de ligações por unidade de tempo, deixando a administração do *Call Center* sem atitudes para solucionar o contra tempo.

Os administradores buscam por meio de simulações responderem a questões simples, tais como: “O que pode acontecer com o sistema de atendimento se o número de ligações aumentarem 50%? Haverá a necessidade de ter mais atendentes? O que acontecerá com o grau de atendimento? Haverá muitas filas ou desistência dos clientes por causa da demora no atendimento?”

2.4.1.2 Coleta de Dados

Segundo Andrade (2004) a coleta de dados é um processo de recolhimento dos fatos e informações disponíveis que serão processadas quando necessária. Para a realização da coleta dos dados geralmente depara-se com duas situações básicas que são a existência dos dados, ou possibilidade de coletá-los e a inexistência dos dados, ou a impossibilidade de obtê-los. Geralmente os dados já existem, sendo que as fontes podem ser:

- Arquivos históricos do sistema;
- Através de observações;
- Dados obtidos de sistemas similares;
- Experiências de trabalhadores;
- Considerações teóricas baseadas na Física, Matemática, etc.

No entanto para ser realizada uma coleta de dados, alguns cuidados têm que ser observados, tais como, a quantidade de dados a serem coletados, sendo que esta tem que ser suficiente para expressar realmente a situação real do sistema e a confiabilidade dos dados coletados, além de serem significativos para o processo de tomada de decisão.

A coleta de dados pode influenciar na formulação do problema, uma má amostragem pode acarretar na confiabilidade dos resultados obtidos ao final da simulação.

2.4.1.3 Modelagem e Codificação

Um fator fundamental na formulação de um modelo de simulação é a identificação das variáveis, pois uma má escolha das mesmas pode acarretar

numa série de problemas, tais como: uma maior probabilidade de erro, mais tempo de execução, mais tempo gasto no desenvolvimento do modelo, entre outros.

Como primeiro passo da modelagem, deve ser identificado às variáveis do problema. É importante definir também as relações entre variáveis, as condições e restrições do sistema, de modo a possibilitar a construção de um modelo que represente, o mais fielmente possível, sua operação no mundo real. (ANDRADE, 2004)

Yonamine (2006) propõe que a escolha do conjunto de variáveis é um fator decisivo para a qualidade do modelo, onde é indispensável conter detalhes que permitam capturar a essência do sistema que se deseja representar. Porém, não é necessário que exista uma correspondência entre cada elemento do modelo e cada elemento do sistema, pois a inclusão de muitas informações não-relevantes para o problema em foco, pode desviar a finalidade principal do modelo, além de provocar um acréscimo computacional desnecessário.

Dentro de um modelo de simulação podem haver dois tipos de variáveis a do tipo interior ou do tipo exterior:

- **Interior:** são as variáveis que representam aspectos de interesse do sistema, ou ainda, variáveis que são geradas dentro do modelo, para se obter a solução final.
- **Exterior:** são variáveis definidas por influência externa ao sistema, isto é, são variáveis que estão sob controle e decisão de pessoas responsáveis (gerentes, chefes, patrões, etc.).

A formulação do modelo é a parte mais importante e mais difícil na realização de uma simulação. Em sua implementação não pode ocorrer erros, além do que, este modelo tem que representar corretamente o sistema real.

A construção do modelo de simulação consiste na formulação das equações que devem representar as inter-relações do sistema, equações estas que podem ser construídas a partir de variáveis discretas ou variáveis contínuas.

Segundo Barboza (2000) dependendo do tipo de modelo, uma simulação pode ser classificada em:

a) Determinística ou Probabilista

Uma simulação determinística é aquela cujo sistema tem entradas não aleatórias, por isso, todas as variáveis presentes são determinísticas. Já a simulação probabilística opera com entradas aleatórias, cujo papel numa simulação é representado através de amostras, que se baseia geralmente numa descrição mais próxima e mais complexa da realidade.

b) Estática ou Dinâmica

Uma simulação é dita estática quando ela se comporta de modo independente das condições do tempo, logo que este não é relevante. Já a dinâmica tem o tempo como fator relevante, onde se refere ao estudo de um sistema ao longo do tempo.

c) Discretos ou Contínuos

Os sistemas discretos têm seu estado alterado em um conjunto enumerável de instantes de tempo, porque, a passagem ocorre aos pedaços, entre um instante e outro, supondo que o estado do sistema não se altere neste intervalo. Já nos modelos de simulação contínuos as variáveis de estado variam continuamente com o tempo, embora ela seja feita de pequenos intervalos.

2.4.1.4 Validação do Modelo

Brito (2007) propõe que após a construção do modelo computacional, depois de ter implementado o modelo matemático, este precisa ser comparado ao modelo conceitual de modo a avaliar se a lógica da programação está de acordo com a lógica definida anteriormente no modelo e se esta, por sua vez, está de

acordo com a realidade do problema; Para isso é necessário verificar se ele atende aos objetivos da simulação do sistema em estudo (sistema real).

A validação do modelo tem por objetivo comprovar que ele representa o sistema real com fidelidade suficiente para garantir a obtenção de soluções satisfatórias para o problema original. Normalmente são utilizados cenários em que o comportamento real já é conhecido previamente e que pode ser comparado com o comportamento obtido por simulação (PERIN, 1999).

Os testes de verificação e validação do modelo devem abranger também os dados, de forma a verificar sua consistência garantindo que os resultados obtidos pela simulação quando comparados com os do sistema real apresentam proximidades aceitáveis, dentro de limites de confiança.

De acordo com Silva (2006), o procedimento de verificação consiste em um conjunto de ações cuja meta é certificar-se, de que o modelo foi transcrito de forma adequada quando do uso da linguagem de simulação ou de programação. A validação estatística é realizada pelo emprego de procedimentos estatísticos como apresentados na Tabela 2.2.

Tabela 2. 2: Estatísticas para Análises Aplicadas em Verificação e Validação de Modelos de Simulação

Categoria	Procedimento estatístico	
Estatística Descritiva	Medidas de posição (amostral)	Média
		Mediana
		Moda
	Medidas de dispersão (amostral)	Variância
		Desvio padrão
		Coefficiente de variação
		Erro padrão da média
		Amplitude total
Hipóteses Estatísticas	Coeficiente de correlação amostral	
	Hipótese de Nulidade	
	Hipótese alternativa	
	Teste de Z	
	Teste de Qui-Quadrado (χ^2)	Teste de Aderência
		Teste de Independência
		Teste de homogeneidade
	Teste de F	
	Teste t	
	Teste de hipótese para dados emparelhados	

Fonte: Silva (2006)

O teste estatístico de validação mais comum, e que é o primeiro a ser feito, é a da comparação com dados históricos e condições conhecidas, cujo objetivo é testar se o sistema obtido através da simulação reproduz o desempenho do sistema na sua realidade. Tal teste pode ser realizado por meio de teste de Qui-Quadrado (χ^2), que é expresso por:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(f_i - P_i)^2}{P_i} \quad 2.50$$

onde:

f_i → Freqüência observada;

P_i → Freqüência esperada ou teórica (probabilidade calculada);

k → Quantidade de eventos possíveis.

Quando $\chi^2 = 0$, as freqüências teóricas e observadas concordam exatamente. No entanto quando $\chi^2 > 0$ as freqüências não concordam, e quanto maior for o valor de χ^2 , maior será a discrepância entre as freqüências observadas e esperadas.

2.4.1.5 Apresentação dos Resultados e Validação Estatística dos Dados

Os resultados de um processo de simulação em geral compõem-se de uma série de valores que devem ser analisados, por meio de técnicas estatísticas. Normalmente a apresentação dos resultados de uma simulação ocorre através de gráficos, tabelas e histogramas.

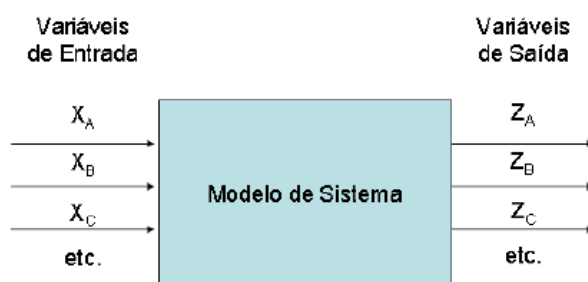
A validação estatística dos resultados é uma coletânea de ações utilizadas para analisar se o modelo representa de maneira confiável o sistema real, onde a validação pode ser categorizada pelo emprego de ferramentas estatísticas, tais como as citadas no capítulo anterior.

2.4.2 Método de Monte Carlo

O método de Monte Carlo foi proposto para a solução de problemas matemáticos, cujo tratamento analítico não se mostrava viável. Segundo Gavira (2003), há certos problemas matemáticos que não podem ser facilmente resolvidos por métodos determinísticos, nesses casos obtêm-se soluções aproximadas, simulando um processo estocástico cujas funções de densidade de probabilidade ou funções de distribuição cumulativas de probabilidade satisfazem as relações funcionais ou requisitos de problemas determinísticos.

Segundo Carvalho (2006) o Método de Monte Carlo consiste em uma maneira de se transformar um conjunto de números aleatórios em um outro conjunto de números que são as variáveis aleatórias, com a mesma distribuição da variável considerada. Ele gera eventos equipotenciais que têm a mesma probabilidade de ocorrência, para isso um dos elementos indispensáveis para a sua aplicação é um gerador de números aleatórios, ou pseudo-aleatórios. Uma sequência de números pseudo-aleatórios não é verdadeiramente aleatória, pois a mesma é obtida por meio de um processo matemático determinístico. Porém, podem perfeitamente serem encarados como aleatórios. Alguns *softwares* possuem a função de geração de números aleatórios, um exemplo bem simples e comum é o Microsoft Excel, outro exemplo é o Matlab, o qual foi utilizado neste trabalho para gerar números aleatórios.

Um exemplo bem simples de um modelo de simulação é mostrado na figura 2.5, onde tal modelo transforma uma série de entradas aleatórias (X_A, X_B, \dots) em uma série de saídas também aleatórias (Z_A, Z_B, \dots) :

Figura 2. 5: Modelo simples de Simulação

Fonte: Carvalho (2006)

A geração de variáveis aleatórias se dá por meio da geração de números aleatórios. Através destes pode-se gerar uma sequência de observações aleatórias a partir de uma dada distribuição de probabilidade. Então a execução do método de Monte Carlo consiste nos seguintes passos:

Seja a função densidade de probabilidade da exponencial, dada por:

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \quad 2.51$$

Como mencionado anteriormente se $f(x)$ for integrada entre os limites de 0 e x , o resultado será a função de distribuição acumulada, isto é:

$$\Pr[X \leq x] = F(x) = \int_0^x f(x) dx \quad 2.52$$

Então considerando $f(x) = \lambda e^{-\lambda x}$, tem-se que:

$$F(x) = \int_0^x \lambda e^{-\lambda x} dx \quad 2.53$$

logo:

$$F(x) = 1 - e^{-\lambda x} \quad 2.54$$

tomando agora um número aleatório gerado no intervalo de $(0,1)$, sendo r esse número e o igualando a $F(x)$, tem-se:

$$\begin{aligned} r &= F(x) \\ r &= 1 - e^{-\lambda x} \\ e^{-\lambda x} &= 1 - r \end{aligned} \quad 2.55$$

Aplicando \ln em ambos os lados da igualdade da equação 2.55 tem-se:

$$\begin{aligned}\ln e^{-\lambda x} &= \ln(1-r) \\ -\lambda x \ln e &= \ln(1-r)\end{aligned}\tag{2.56}$$

Como $\ln e = 1$, então:

$$\begin{aligned}-\lambda x &= \ln(1-r) \\ x &= -\frac{\ln(1-r)}{\lambda}\end{aligned}\tag{2.57}$$

Assim, conhecendo-se a distribuição de probabilidade pode-se ajustar o método para realizar as simulações baseando-se na função que o descreve.

2.4.3 Números Aleatórios

Em qualquer simulação de um sistema físico que envolve aleatoriedade deve se incluir um método para geração de números aleatórios. Por exemplo, a simulação de sistemas de filas envolve geração de intervalo entre chegadas de clientes e tempo de atendimento de cada cliente. Esses números aleatórios devem satisfazer as propriedades dos processos físicos que eles estão simulando.

Como o próprio nome diz, números aleatórios são números que não têm uma seqüência lógica para sua ocorrência, Eles não seguem nenhuma regra de formação, são aleatórios. Existem várias formas de se gerar números aleatórios, mas estes requerem muito mais esforço, por esta razão normalmente são utilizados números pseudo – aleatórios, que são números quase aleatórios, pois são construídos, gerados, por algum processo matemático determinístico. Este tipo de gerador de números aleatórios segue uma rotina que gera uma seqüência de números inteiros s_1, s_2, s_3, \dots e uma seqüência de números reais r_1, r_2, r_3, \dots compreendidos no intervalo fechado $[0,1]$, a partir de uma semente inteira S_0 .

Há vários geradores de números aleatórios, sendo que cada um possui um mecanismo próprio para gerar tais números, dentre eles pode-se citar:

A. Método aritmético do meio quadrado (Andrade, 2004).

- a) Eleva-se s_0 ao quadrado.
- b) Toma-se os k dígitos centrais de r_0^2 , que formaram o r_1 .
- c) Repete-se o processo de modo que o r_n seja extraído dos k dígitos centrais de r_{n-1}^2 . Se houver necessidade, podem-se incluir zeros a esquerda de r_{n-1}^2 , de modo que r_n tenha sempre k dígitos.

B. Método do Resíduo

- a) Seja a fórmula recursiva dada por: $Z_k = \alpha \cdot Z_{k-1} \bmod M(1)$

Onde: α é um inteiro escolhido entre 1 e M . M é um número primo p ou uma potência inteira de um número primo (p^m)
- b) Tomando o produto de α e Z_{k-1} , dividido por M , e fazendo Z_k o resto da divisão, o número resultante está na faixa de 0 a $M-1$, e se repete indefinidamente com período máximo de $M-1$
- c) Se o valor de M for extremamente grande, então os números na sequência não se repetirão durante o curso da simulação.
- d) A escolha de Z_0 é chamada a “semente” do gerador de números aleatórios.

2.5 SOFTWARES DE SIMULAÇÃO

A informação tecnológica hoje pode ser considerada a maior ferramenta dos tempos modernos na busca da perfeição empresarial. Pode se destacar como um dos

principais benefícios a sua capacidade de melhorar a qualidade e a disponibilidade de informações e conhecimentos importantes para a empresa propiciando oportunidades sem precedentes para a melhoria dos processos internos e dos serviços prestados ao consumidor final.

Dentre as tecnologias mais utilizadas estão os computadores, entretanto as evoluções deste não se restringem apenas a parte de hardware⁶ e sim principalmente no que se refere à parte de *software*⁷. Qualquer computador moderno tem uma variedade de programas que fazem diversas tarefas, mas o mercado empresarial é muito mais exigente, cada empresa busca *softwares* específicos para suprir suas necessidades. Por exemplo, uma empresa dotada de um *Call Center*, busca por *softwares* que atendem as suas necessidades mais específicas como simulação de filas, escalas de atendentes, etc.

Quando se fala em *software* de simulação, o qual é a proposta deste trabalho, há vários nomes conhecidos no mercado, dentre elas podem ser destacados alguns nomes como o Arena, o Simul8, Simulink, SimJava, etc.

Segundo NETO e PINTO (2004), o **Software Arena** utilizado para simulação de eventos discretos, desenvolvido pela *Rockwell Automation*, surgiu em 1993, da junção de dois outros programas denominados SIMAN e CINEMA. Isso deu origem a um ambiente gráfico integrado de simulação, que contém todos os recursos para modelagem, animação, análise estatística e análise de resultados, de acordo com uma abordagem por processos para execução da simulação. Essa técnica de simulação pode ser considerada como uma situação onde elementos estáticos, formando um ambiente bem definido com suas regras e propriedades, interagem com elementos dinâmicos, que fluem dentro desse ambiente.

Segundo Chwif & Medina (2006) o **Simul8** é atualmente um dos softwares de simulação com o maior número de licenças vendidas no mundo. Isso se deve, principalmente, ao seu preço de venda relativamente baixo. O desenvolvimento do Simul8 teve início na década de 90, com a finalidade de ensino de simulação na Universidade de Strathclyde (Escócia). Devido ao sucesso do Simul8 como ferramenta desse tipo de ensino, a Simul8 Corporation iniciou a sua comercialização como

⁶ Hardware é a parte física do computador, ou seja, é o conjunto de componentes eletrônicos, circuitos integrados e placas, que se comunicam através de barramentos.

⁷ **Software** ou **programa de computador** é uma sequência de instruções a serem seguidas e/ou executadas, na manipulação, redirecionamento ou modificação de um dado/informação ou acontecimento.

ferramenta profissional para projetos de simulação. O Simul8 incorpora uma série de tecnologias modernas quando comparado com os softwares de simulação que foram criados nas décadas anteriores, o que facilita o seu uso e acelera o tempo de desenvolvimento e análise de modelos.

De acordo com Filho (2005) o **Simulink** é um programa utilizado para modelagem, simulação e análise de sistemas dinâmicos, sendo que este se aplica a sistemas lineares e não lineares contínuos e/ou discretos no tempo. Utiliza-se de uma interface gráfica com o usuário para construção dos modelos a partir de diagramas em blocos, através de operações de clique-e-arraste do mouse.

O Simulink é o resultado de uma longa evolução de pacotes de simulação anteriores que necessitavam da formulação de equações diferenciais em linguagens de programação. Ele é composto por bibliotecas de blocos contendo fontes, visualizadores, componentes lineares, não lineares e conectores, com a opção de criação ou personalização de blocos. Após a definição do modelo, a simulação pode ser feita com diferentes algoritmos de resolução, escolhidos a partir dos menus do Simulink ou da linha de comando do MATLAB, que será detalhado no capítulo seguinte. Os menus são particularmente convenientes para o trabalho interativo, enquanto a linha de comando tem sua utilidade na simulação repetitiva a qual se deseja somente mudar parâmetros. Usando osciloscópios⁸ ou outros visualizadores, têm-se o resultado gráfico da simulação enquanto está sendo executada. Os resultados da simulação podem ser exportados para o MATLAB para um possível trabalho futuro como os dados obtidos no processamento ou na visualização.

As ferramentas de análise de modelos incluem ferramentas de linearização e ajuste que podem ser acessadas a partir da linha de comando do MATLAB, assim como várias ferramentas do MATLAB e suas Toolboxes⁹ específicas. Sendo o MATLAB e o Simulink integrados, pode-se simular analisar e revisar os modelos em qualquer dos dois ambientes.

Segundo Howell (2007) o Simjava é um pacote de simulação discreta em Java baseado no processo de eventos, com uma interface de animações. Uma simulação do simjava é uma coleção de entidades sendo que cada funciona em sua própria linha.

⁸ Osciloscópios são dispositivos de saída

⁹ Toolbox são rotinas do MATLAB aplicadas a áreas específicas como estatística, otimização, controle, redes neurais, finanças, totalizando mais de 70 títulos.

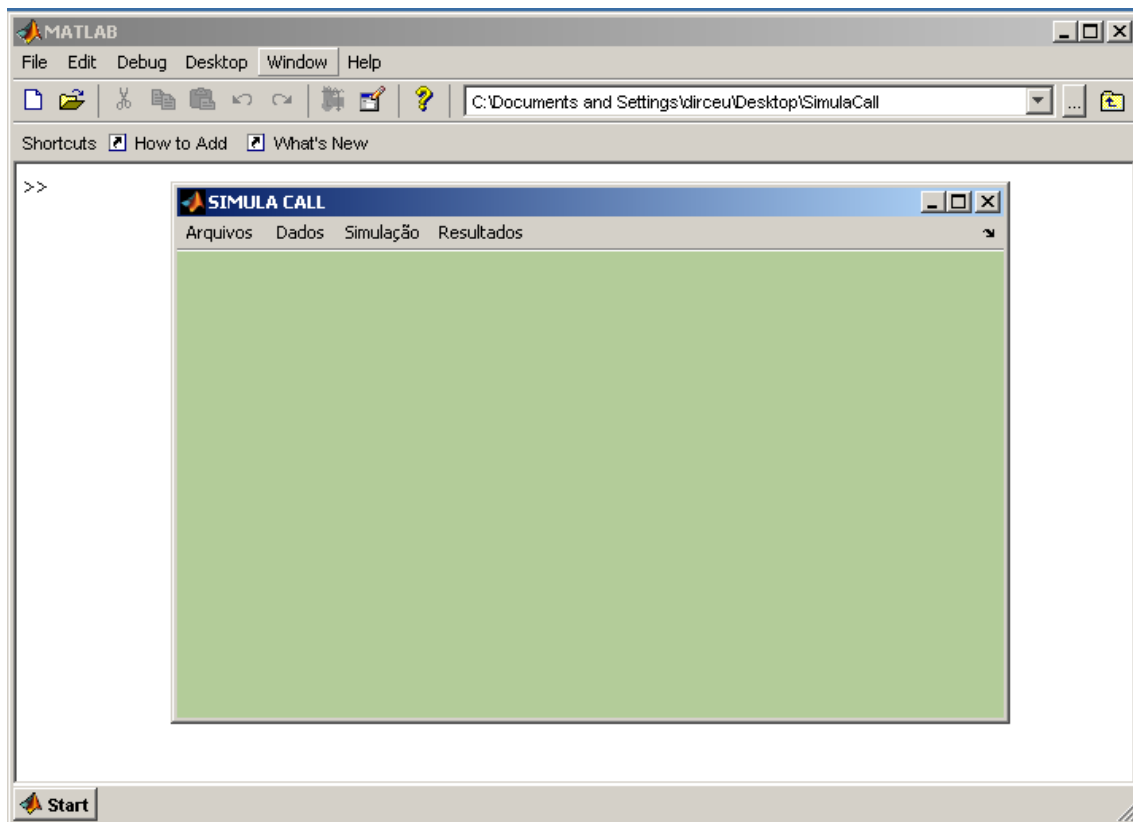
Estas entidades são conectadas junto aos portos e podem comunicar-se um com o outro emitindo e recebendo objetos do evento. Uma classe do sistema da central controla todas as linhas, avança o tempo da simulação, e entrega os eventos. O progresso da simulação é gravado através das mensagens do traço produzidas pelas entidades e conservadas em uma linha.

3 SIMULACALL: FERRAMENTA PARA SIMULAÇÃO DE CENTRAL DE ATENDIMENTO TELEFÔNICO

O Software SimulaCall a ser descrito neste capítulo é uma ferramenta baseada no Método de Monte Carlo e tem por objetivo simular o funcionamento de uma central telefônica (*Call Center*).

Esta ferramenta possui uma interface gráfica desenvolvida em Matlab[®]7 na plataforma PC/Windows XP, podendo ser operada por qualquer usuário, mesmo sem conhecimento prévio do *software* Matlab[®]7.

Figura 3. 1: Tela Inicial do *Software* SimulaCall juntamente com a área de trabalho do Matlab[®]7.



3.1 O MATLAB[®]7

De acordo com Matsumoto (2004) o Matlab[®]7 pode ser definido como um *software* cujo elemento básico de trabalho são matrizes (o nome MATLAB vem do inglês “*MATrix LABoratory*”), no qual problemas podem ser facilmente expressos em notações matemática e rapidamente solucionados por meio de cálculos computacionais eficientes e confiáveis. Aplicações típicas desde *software* incluem a matemática computacional, o desenvolvimento de algoritmos, a aquisição e análise de dados, a visualização de resultados, a simulação de sistemas e a prototipação.

Os recursos oferecidos pelo Matlab[®]7 podem ser divididos em cinco grandes categorias:

- I. **Ambiente de desenvolvimento:** consiste no ambiente interativo do programa propriamente dito; No Matlab[®]7 *desktop* ([*Command Window*], outras janelas e menus), o usuário pode facilmente elaborar instruções e comandos para testar idéias e verificar resultados.
- II. **Biblioteca de funções matemáticas do Matlab[®]7:** núcleo do Matlab[®]7, composto por mais de 1.000 funções, desde as mais elementares, como soma e subtração, até as mais sofisticadas, como inversa de matrizes, geração de números aleatórios, transformadas de *Fourier*, *solvers* de equação diferencial ordinária, etc.
- III. **Linguagem de Programação Matlab[®]7:** linguagem de alto nível, cuja estrutura de dados principal são matrizes que não precisam ser previamente dimensionadas. Além disso, a linguagem é “orientada por objetos”, o que torna sua programação mais simples e eficiente do que a programação em C/C++, *Fortran* ou qualquer outra linguagem de programação tradicional.

- IV. **Recursos gráficos do Matlab[®]7**: biblioteca de funções gráficas do Matlab, que disponibiliza recursos poderosos e flexíveis para a criação de gráficos para visualização de resultados.
- V. **Matlab[®]7 application Program Interface (API)**: biblioteca que permite integrar o programa com funções desenvolvidas em C e *Fortran*.

3.1.1 Requisitos de *Hardware* e de *Software*

Para a versão do Matlab[®]7 em plataforma *Windows*, o requisitos de *hardware* básicos são os seguintes:

- Microcomputador com processador;
 - Pentium III, IV, Xeon, M;
 - AMD Athlon;
 - Athlon XP/MP
- Monitor de vídeo gráfico (16, 24, ou 32 bits, OpenGL recomendável);

Os requisitos de espaço em disco para instalação, memória RAM, espaço livre em disco para execução podem variar de acordo com o tipo de instalação e necessidade de desempenho.

Tabela 3. 1: Requisitos para Instalação do Matlab[®]7

Requisito	Mínimo necessário	Recomendável
Espaço para instalação	1.0 GB (sem documentação)	1.5 GB (com documentação)
Memória RAM	256 MB	1.0 GB
Espaço livre para execução	1.0 GB	3.0 GB

Fonte: Matsumoto (2004)

O potencial do programa Matlab[®]7 está, em parte, ligado diretamente com a quantidade de memória designada ao usuário para desenvolver suas aplicações e para carregar esta ferramenta na máquina. Se a memória alocada for pequena, programas que utilizam grandes quantidades de variáveis serão diretamente afetados, ficando lentos demais ou podendo até não executar.

O Matlab[®]7 ainda é suportado por outras plataformas, de acordo com a tabela abaixo:

Tabela 3. 2: Plataformas que suportam o Matlab[®]7

Sistema Operacional	Processador
Sun Solaris 2.8/2.9	SPARC ULTRA
HP-UX 11.0/11i	PA-RISC 2.0
Linux 2.4.x	Pentium, AMD, Athlon
Glibc (glibc6) 2.2.5	Pentium, AMD, Athlon
Mac OS X 10.3.2 (Panther)	Power Mac G4/G5

Fonte: Matsumoto (2004)

3.2 PROCEDIMENTOS GERAIS DA FERRAMENTA SIMULACALL

O procedimento geral usado pelo SimulaCall segue a seguinte sequência de passos:

Passo 0: Análise estatística dos dados e obtenção das taxas de entrada das ligações, taxa de atendimento e escalas de funcionários. Este passo não faz parte do SimulaCall e deve ser desenvolvido à parte pelo usuário.

Passo 1: Inicialmente é feita a leitura dos dados, sendo que estes podem ser importados de arquivos do Excel, arquivos de texto ou ainda digitados no ato da execução.

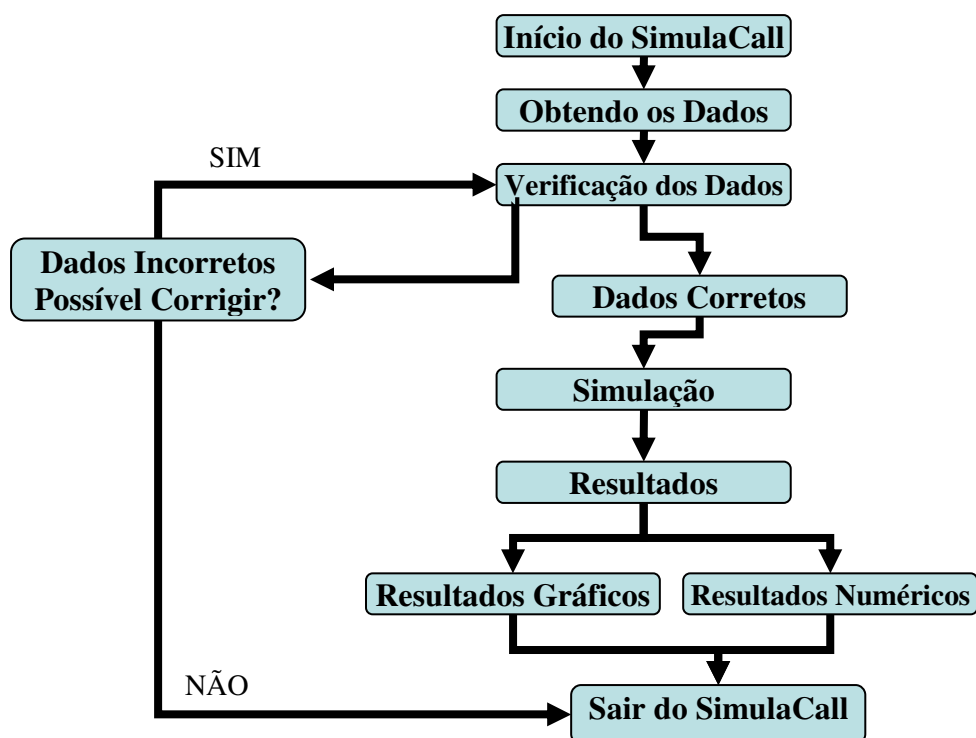
Passo 2: O SimulaCall analisa a coerência das informações, alertando o usuário caso existam erros (valores negativos, zerados ou não numéricos), não havendo problemas, os dados são validados e pode-se iniciar o Passo 3.

Passo 3: O usuário seleciona o menu Simular e aguarda até o término da simulação.

Passo 4: Após o término do passo anterior o SimulaCall gera os resultados para os dados que foram inseridos no primeiro passo, sendo disponibilizados os resultados através do submenu “Resultados Numéricos” e gráficos através do submenu “Gráficos”.

Os quatro passos estão representados no fluxograma da figura 3.2:

Figura 3. 2: Fluxograma do Funcionamento do SimulaCall



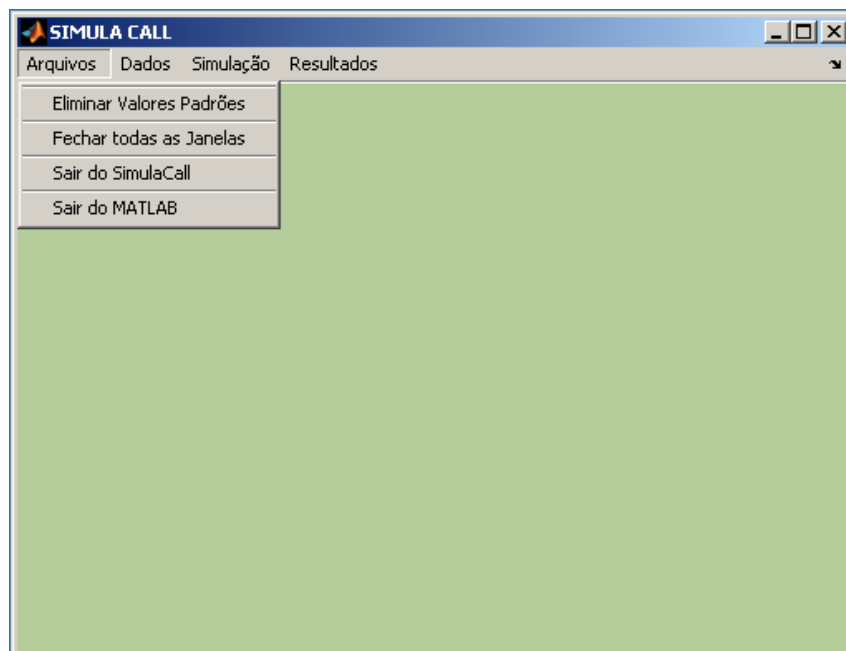
A seguir serão detalhados os procedimentos de entrada de dados, do seu processamento realizado pelo SimulaCall e as opções de resultados disponíveis.

3.2.1 Menu Arquivo

No menu “Arquivo” constam somente algumas opções básicas de ordem operacional do SimulaCall, sendo elas:

- **“Eliminar Valores Padrões”**: Elimina todos os arquivos com extensão txt, bak e asv, onde estão gravados os dados das simulações anteriores, caso estes existam;
- **“Fechar Todas as Janelas”**: Fecha todas as janelas abertas pelo Simula Call, com exceção do mesmo;
- **“Sair do SimulaCall”**: Fecha o SimulaCall, retornando a tela do Matlab;
- **“Sair do Matlab”**: Fecha o Matlab[®]7.

Figura 3. 3: Menu “Arquivo” do SimulaCall



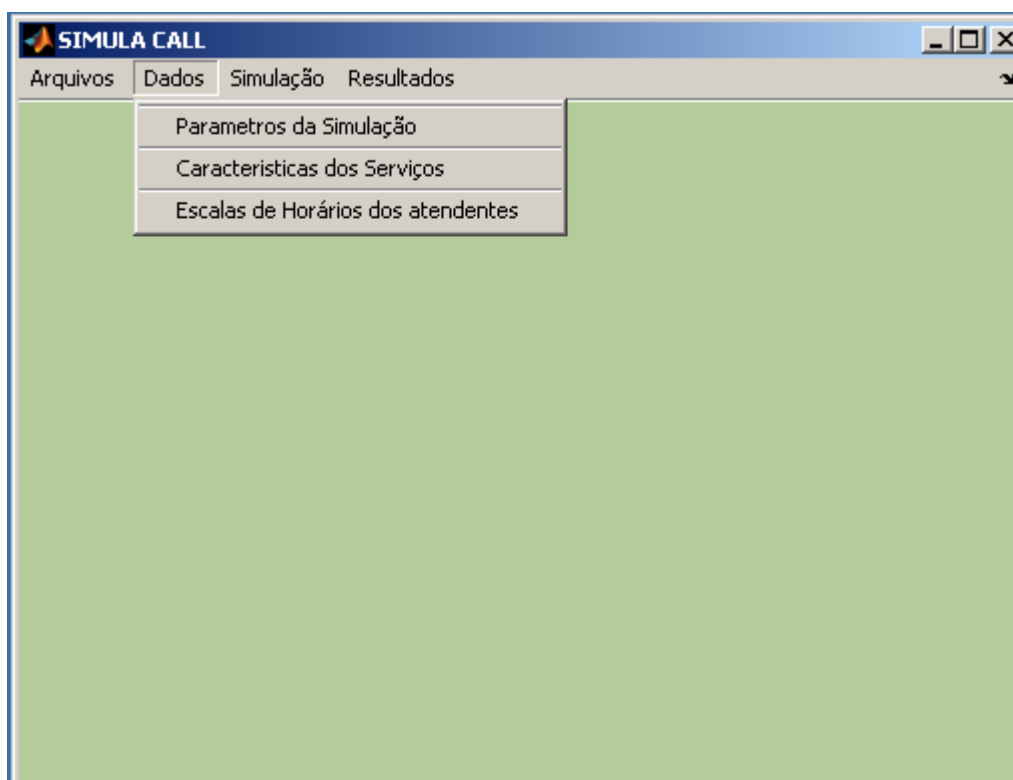
3.2.2 Entrada de Dados

No SimulaCall, o usuário utiliza o menu “Dados” (Figura 3.4) para fornecer as informações necessárias para a simulação, digitando diretamente todos os valores nas opções (“Parâmetros da Simulação”, “Características do Serviço”) disponibilizadas pela interface gráfica através do menu “Dados”, exceto a opção “Escala de Horários dos Atendentes”.

Na opção de “Escala de Horários dos Atendentes” do menu “Dados”, o usuário não digita nenhuma informação no aplicativo, obrigatoriamente importa do arquivo Escalas.xls previamente preparado, pois são muitas informações em muitos campos para o aplicativo fornecer através da interface gráfica.

O software também oferece a opção ao usuário de utilizar as informações pré-gravadas de simulações anteriores, caso estas existam, que aparecem em todos os campos como valor padrão de entrada, cabendo ao usuário alterá-lo ou não.

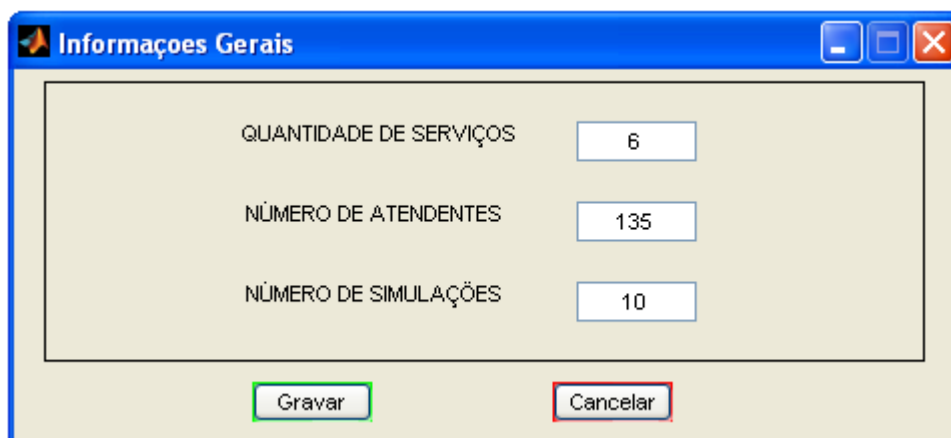
Figura 3. 4: Menu “Dados” do SimulaCall



Quando o usuário seleciona a opção “Parâmetros da Simulação” (figura 3.4) é disponibilizado o menu popup “Informações Gerais” (figura 3.5) contendo três campos, “Quantidade de serviços”, “Número de Atendentes” e o “Número de Simulações” para serem preenchidos:

- Quantidade de Serviços: quantidade de serviços disponibilizados pela empresa via central de atendimento telefônico (*Call Center*).
- Número de Atendentes: quantidade total de atendentes que a empresa tem disponível para os diferentes serviços prestados (caso exista) em todo o seu período de funcionamento.
- Número de Simulações: é o número de repetições que o SimulaCall irá realizar tomando como base os dados informados.

Figura 3. 5: Popup “Informações Gerais”

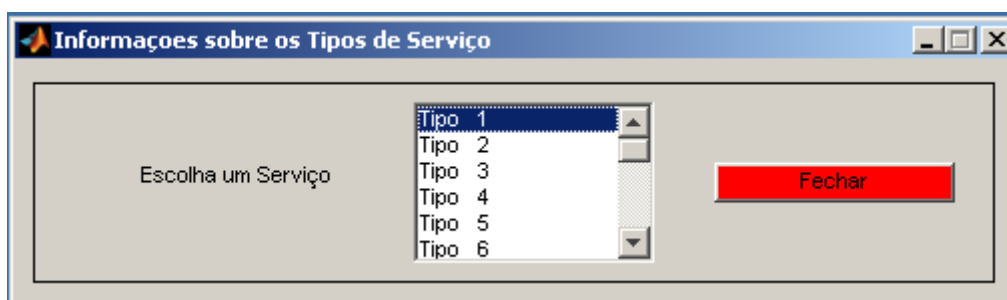


A imagem mostra uma janela de diálogo intitulada "Informações Gerais". Ela possui um cabeçalho azul com o ícone de uma seta laranja apontando para cima e o título "Informações Gerais". No corpo da janela, há três campos de entrada de texto, cada um com uma label à esquerda e um campo de entrada à direita. Os dados inseridos são: "QUANTIDADE DE SERVIÇOS" com o valor "6", "NÚMERO DE ATENDENTES" com o valor "135" e "NÚMERO DE SIMULAÇÕES" com o valor "10". Na base da janela, há dois botões: "Gravar" (com uma borda verde) e "Cancelar" (com uma borda vermelha).

Label	Valor
QUANTIDADE DE SERVIÇOS	6
NÚMERO DE ATENDENTES	135
NÚMERO DE SIMULAÇÕES	10

Depois o usuário deve selecionar a opção “Características do Serviço” que disponibilizará uma caixa de diálogo “Informações sobre os Tipos de Serviço” figura 3.6, contendo uma caixa de rolagem com uma lista de itens dos tipos de serviços (a quantidade de serviços, disponibilizada nesta opção será a mesma que a quantidade informada na opção “Quantidade de Serviços” do popup “Informações Gerais”).

Figura 3. 6: Popup “Informações sobre os Tipos de Serviço”



Ao clicar em cada tipo de serviço, será disponibilizado o menu popup “Parâmetros para Simulação”, figura 3.7, contendo os seguintes campos:

Figura 3. 7: Popup “Parâmetros para Simulação”

INFORMAÇÕES GERAIS SOBRE O SERVIÇO		TAXA DE CHEGADA DAS LIGAÇÕES			
TAXA DE ATENDIMENTO (atendimentos por hora)	100	00:00 às 01:00	06:00 às 07:00	12:00 às 13:00	18:00 às 19:00
HORÁRIO DE INICIO DO TRABALHO (horas)	0	50	50	50	50
HORÁRIO DE TERMINO DO TRABALHO (horas)	2	01:00 às 02:00	07:00 às 08:00	13:00 às 14:00	19:00 às 20:00
TAXA DE DESISTENCIA (porcentagem)	10	50	50	50	50
TAXA DE TRANSFERENCIA (porcentagem)	0	02:00 às 03:00	08:00 às 09:00	14:00 às 15:00	20:00 às 21:00
TOLERANCIA DE ESPERA (tempo em segundos)	100	50	50	50	50
		03:00 às 04:00	09:00 às 10:00	15:00 às 16:00	21:00 às 22:00
		50	50	50	50
		04:00 às 05:00	10:00 às 11:00	16:00 às 17:00	22:00 às 23:00
		50	50	50	50
		05:00 às 06:00	11:00 às 12:00	17:00 às 18:00	23:00 às 24:00
		50	50	50	50

- **Taxa de Atendimento:** é a taxa de atendimento do serviço em questão. Seu valor deve ser informado em atendimentos por hora, isto é, quantos clientes (ligações) cada atendente conseguiu atender em uma hora de trabalho. Neste campo considera-se que todas as horas do dia assim como todos os atendentes possuem a mesma taxa de atendimento.
- **Horário de início do trabalho:** é o horário que o *Call Center* começa a atender ligações referentes ao tipo de serviço analisado, no SimulaCall

este é dado em horas. Se o serviço é realizado 24 horas por dia, o início da jornada de trabalho deve-se iniciar às 00:00.

- Horário de término do trabalho: é o horário em que o *Call Center* deixa de atender as ligações referente ao serviço analisado. Da mesma forma se o serviço analisado é oferecido 24 horas por dia, o término do mesmo será as 24:00.
- Taxa de desistência: média de desistência observada na empresa para o serviço em questão.
- Taxa de transferência: média de transferências de um serviço para outro após atendimento. Caso não exista mais de um tipo de serviço o valor neste campo deve ser nulo.
- Tolerância de Espera: tempo máximo que um cliente pode ficar na fila, sendo este dado em segundos.
- Taxa de chegada das ligações: número médio de ligações que chegam à central por unidade de tempo. No SimulaCall esta taxa é informada em ligações/hora, logo existem 24 campos para serem preenchidos. Se o *Call Center*, não opera 24 horas por dia, então nos campos em que não há atendimento o valor informado deve ser nulo, ou seja, zero.

Conforme citado, no início deste item, a opção “Escala de Horários dos Atendentes”, não permite ao usuário qualquer digitação, mas sim importar os dados do arquivo Escalas.xls, figura 3.8.

Para a elaboração deste arquivo devem ser construídas duas matrizes de “Escala”, contendo o horário de trabalho de todos os atendentes da empresa, sendo que uma é dada em horas e a outra em segundos.

Nesta “Matriz Escala” (à esquerda), a primeira coluna (Coluna B) indica o número do atendente, sendo que este pode ser um número próprio para a realização da simulação ou até mesmo um número de identificação do atendente. A segunda coluna (coluna C) indica o tipo de serviço que o atendente presta, no exemplo mostrado, há dois serviços, “serviço 1” e “serviço 2”.

Figura 3. 8: Arquivo Escalas.xls:

Microsoft Excel - Escalas.xls

Arquivo

Editar

Exibir

Inserir

Formatar

Ferramentas

Dados

Janela

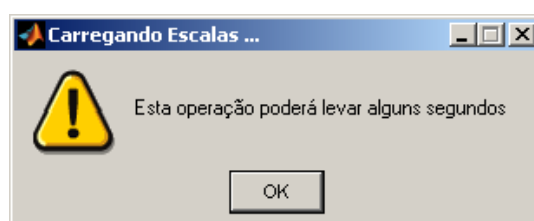
Ajuda

A terceira coluna (Coluna D) indica o início da jornada de trabalho de cada um dos atendentes, por sua vez a sexta coluna (coluna G) indica o término do mesmo. A quarta e quinta coluna (colunas “E” e “F”) são os horários de folgas dos atendentes, que podem ser lanches, ginástica laboral, etc.

De forma análoga a matriz a direita tem os mesmos valores transformados em segundos, sendo esta a matriz utilizada pelo SimulaCall para a realização da simulação.

Quando o usuário acessa a opção “Escala de Horários dos Atendentes” o aplicativo carrega o arquivo descrito acima e só é liberado para o usuário continuar a simulação após tal importação. Durante a importação do arquivo Escala.xls, aparece na tela do SimulaCall uma caixa de diálogo, como mostrado na figura 3.9.

Figura 3. 9: Caixa de Diálogo do Submenu “Escala de Horários dos Atendentes”.



Para continuar a simulação o usuário deve clicar no botão “Ok” para dar sequência a simulação. Tal processo pode levar alguns segundos para ser processado, sendo que este tempo depende principalmente das características de *Hardware* do computador que esteja sendo usado para a simulação.

3.2.3 Simulador

Todo o processo de simulação do SimulaCall são ativadas pelo menu “Simulação” na opção “Simular”, que deve ser ativada ao término da entrada de dados (Figura 3.10).

Após iniciado o processo de simulação, é exibido uma caixa informativa com o nível de andamento do processo (Figura 3.11).

Ao final aparece uma caixa de diálogo informando que o processo foi concluído (Figura 3.12).

Figura 3. 10: Menu “Simulação” do SimulaCall

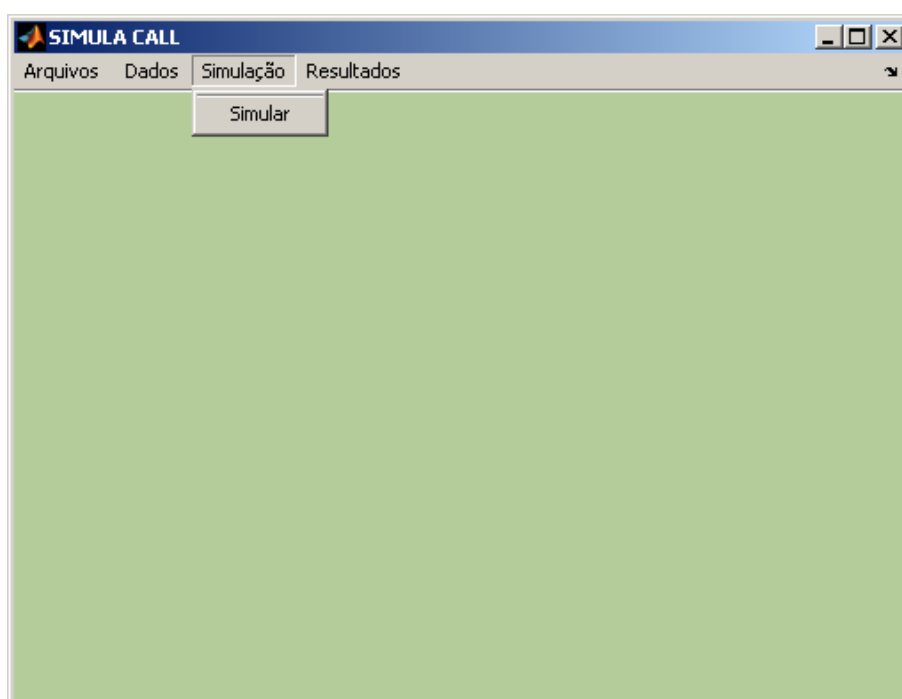


Figura 3. 11: Caixa Informativa do Andamento da Simulação

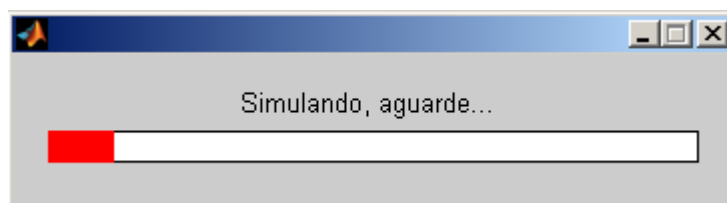
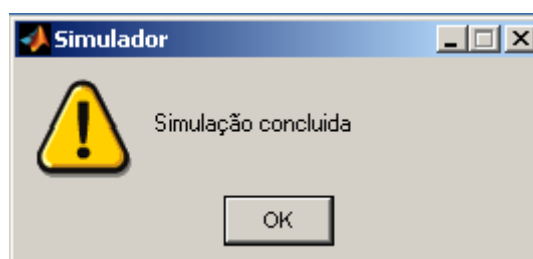


Figura 3. 12: Caixa Informativa sobre a Conclusão da Simulação



3.2.3.1 Procedimentos do Simulador

Como descrito acima, todo o processo de simulação se dá quando o usuário aciona a opção “Simular”. No entanto, tal processo é composto de várias fases, sendo estas:

- Geração do instante de ocorrência da ligação;
- Geração da duração de cada uma das ligações;
- Simulação propriamente dita.

Tomando como exemplo um *Call Center* que opera 24 horas por dia com as seguintes condições:

1. Os clientes, ao ligarem podem escolher um dos seguintes tipos de serviços:
 - i) Serviço de emergência;

ii) Serviço comercial.

2. Historicamente o número de ligações do serviço emergencial é significativamente superior ao do serviço comercial.
3. Há atendentes específicos para cada tipo de serviço, sendo que número de atendentes específicos para o serviço comercial é significativamente superior ao do tipo emergencial.
4. O atendimento ao primeiro serviço (de emergência) é prioritário.
5. Se todos os atendentes estiverem ocupados, novas ligações são alocadas em duas filas (haverá uma fila das emergências e outra fila do comercial).
6. Se algum cliente (ligação) permanecer na fila das emergências por um período maior que 2 minutos, então um atendente do serviço comercial passará a atender serviços de emergência, ou seja, um dos atendentes do serviço comercial é remanejado para atender o serviço emergencial. Este processo é repetido até a fila do serviço emergencial retornar ao estado normal.

Tomando como exemplo o *Call Center* descrito acima, o primeiro procedimento a ser realizado pelo SimulaCall é a geração dos instantes das ligações. As ligações ocorrem conforme a taxa de chegada λ_i , onde deve se considerar que a cada horário do dia e a cada tipo de serviço a taxa de chegada λ_i pode assumir um valor diferente. Para se obter os instantes de ocorrência das ligações é utilizado o Método de Monte Carlo descrito no itens 2.4.2, através do uso de números aleatórios, que tem a mesma probabilidade de ocorrência, são gerados os intervalos entre duas ligações consecutivas por meio da equação 2.57:

$$x = -\frac{\ln(1-r)}{\lambda}$$

Considerando que a 1ª ligação do serviço emergencial $x_1 = 20$, como ela foi a 1ª ligação, logo se pode concluir que ela ocorreu no instante 20 segundos.

Tomando agora uma outra ligação, também do serviço emergencial, $x_2 = 40$, ou seja, a 2ª ligação ocorreu 40 segundos após a primeira, com isso tem-se que, a 2ª ligação aconteceu no instante 60 segundos. De maneira análoga todas as demais ligações vão sendo geradas através da distribuição exponencial com parâmetro λ .

A geração da duração das chamadas ocorre de maneira semelhante ao processo descrito anteriormente, porém aqui se utiliza a taxa de atendimento μ_i ao invés da taxa de chegada λ_i e a duração de cada ligação é o resultado direto da equação 2.57:

$$x = -\frac{\ln(1-r)}{\mu}$$

Os dois procedimentos descritos acima são realizados duas vezes, se considerado que são dois tipos de serviços simulados. Ao final deste o SimulaCall tem salvo internamente a matriz de dados contendo todas as ligações geradas com suas respectivas durações. Neste momento todas as informações são carregadas e se inicia a simulação propriamente dita.

Como o *Call Center* aqui exemplificado opera 24 horas por dia o simulador terá como ponto de partida o instante 0 (zero) segundo e o seu ponto de parada acontecerá no instante 86400 segundos, ou seja, as 24:00.

Uma vez iniciado a simulação o relógio do simulador fará o tempo passar, e a cada novo instante o simulador verifica se dentro da matriz de dados há ligações naquele instante de tempo dos dois tipos de serviços. Em caso de existência de uma ligação ele verifica de que serviço é, e a designa para o primeiro atendente livre responsável por tal atendimento.

Se num determinado instante de tempo, ocorre uma ligação do serviço comercial e neste mesmo instante não há nenhum atendente livre, tal ligação vai para a fila de espera, ficando lá até o momento em que um dos atendentes responsáveis pelo atendimento fique novamente livre. O critério de disciplina

adotado pelo simulador e a FIFO, desta forma se a fila possuir mais de uma ligação, o primeiro da fila será também o primeiro a ser atendido.

Como o *Call center* aqui usado tem o serviço emergencial como prioridade, uma ligação não pode permanecer mais que 2 minutos na fila de espera. Para isso, no SimulaCall foi implementado um critério para controlar a fila máxima, isto é, se em determinado instante a fila do serviço emergencial ficar com valores acima do desejado, fora dos limites estipulados, há uma transferência de atendentes livres do serviço comercial, que não possui prioridades elevadas, para este. Tal critério tem como base a “Tolerância de Espera” informada pelo usuário no popup “Parâmetros para Simulação”. O simulador avalia se a última ligação que entrou na fila de espera mediante condições de atendimento não vai ultrapassar tal tolerância de 2 minutos. Em caso de extrapolação deste limite, o simulador busca entre os atendentes do outro serviço, um que esteja livre para atender a primeira ligação que esteja na fila de espera do serviço emergencial.

No instante seguinte, após a troca de um atendente do serviço comercial para o serviço emergencial verifica-se esta foi suficiente para suprir as necessidades do serviço com excesso de fila, em caso negativo designa outro atendente livre para o serviço emergencial até que a fila deste volte à normalidade. Quanto isso ocorrer os atendentes designados do serviço comercial voltam a suas condições normais, isto é, voltam a atender a atividade, para os quais foram designados inicialmente.

Quando o critério de parada é atingido o SimulaCall chega ao fim, o simulador salva as informações obtidas nesta simulação e inicia uma nova, caso esta seja solicitada pelo usuário, quando este informa o “Número de Simulações” no popup “Informações Gerais”. Se o usuário solicitar n simulações, o SimulaCall realizara esses processos descritos acima n vezes.

Com o término das n repetições o SimulaCall salva as informações de todas as simulações, bem como os resultados obtidos, disponibilizando através de matrizes ou gráficos descrito a seguir.

3.2.4 Apresentação dos Resultados Gráficos

O SimulaCall apresenta os resultados gráficos através do menu “Resultados” (figura 3.13) no submenu “Gráficos”, que ao ser acessado ativa a caixa de diálogo “Gráficos dos Resultados” (figura 3.14) onde o usuário possui opções de visualizar os gráficos referentes à:

- “Tempo Médio de Espera na Fila”
- “Tempo Médio de Permanência no Sistema”
- “Número de Ligações”
- “Desistências”
- “Ociosidade Média dos Atendentes”
- “Número de Ligações Fora da Tolerância de Espera”

Figura 3. 13: Menu “Resultados” do SimulaCall

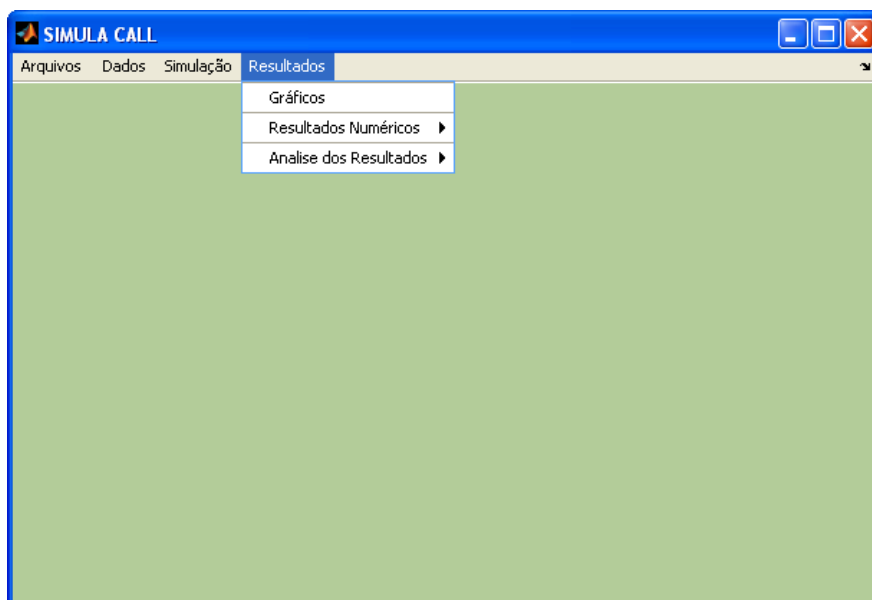
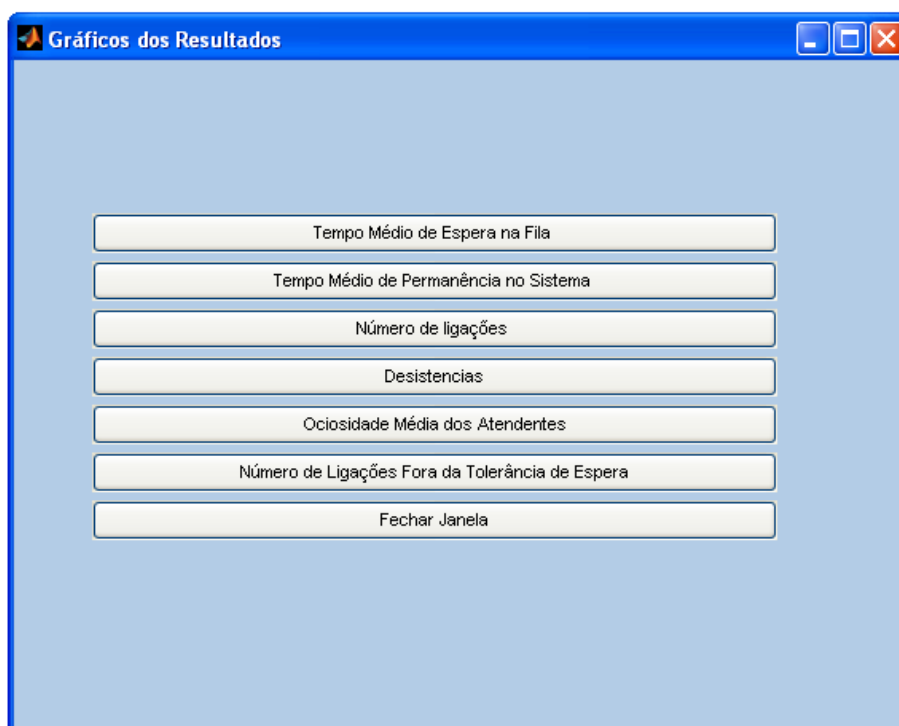


Figura 3. 14: Popup “Gráficos dos Resultados”

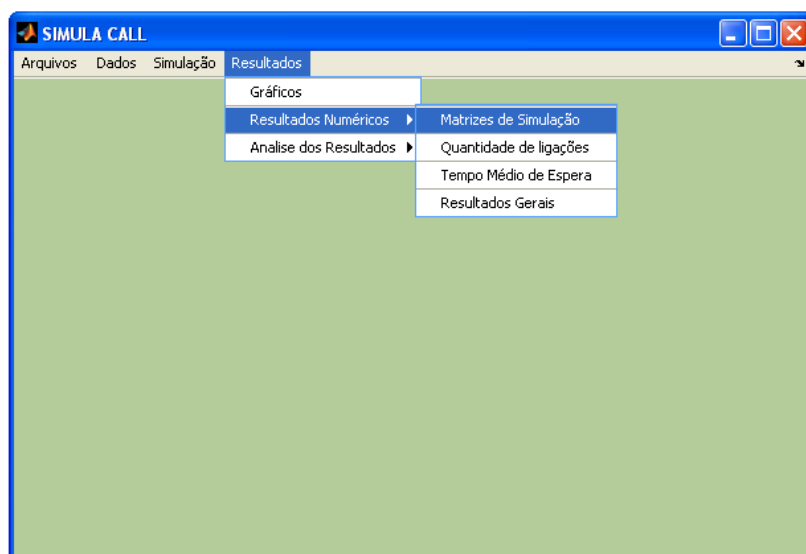


3.2.5 Apresentação dos Resultados Numéricos

Quanto aos resultados numéricos, são apresentados através do menu “Resultados” no submenu “Resultados Numéricos”, (figura 3.15) que ao ser acessado ativa outros submenus secundários onde o usuário possui opções de visualizar no Matlab[®]7 ou impressão dos resultados numéricos referentes à:

- “Matriz de Simulação”
- “Quantidade de Ligações”
- “Tempo Médio de Espera”
- “Resultados Gerais”

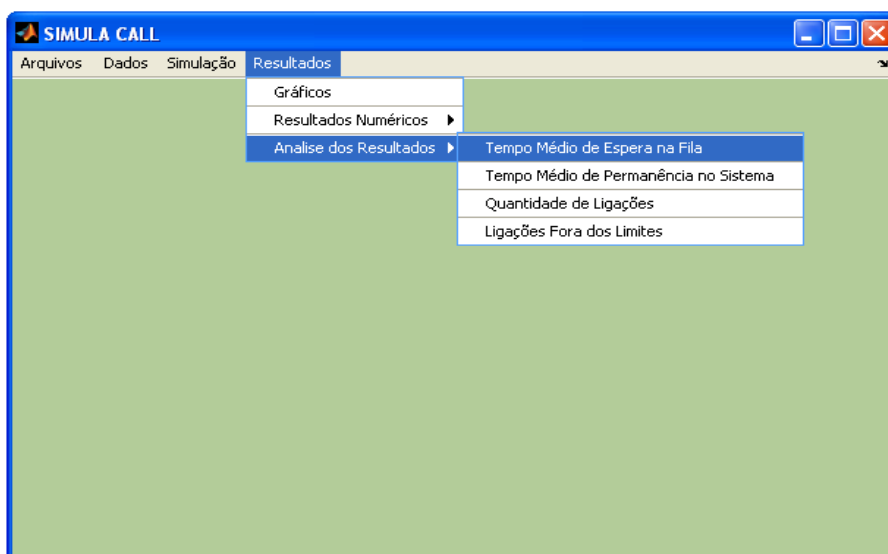
Figura 3. 15: Popup “Resultados Numéricos”



3.2.6 Análise dos Resultados

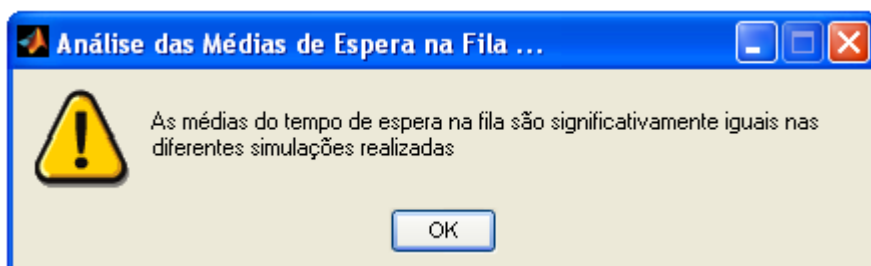
Após a obtenção dos resultados o administrador do *Call Center* deve analisar se tais resultados são significativos. Para tal fim foi implementado no SimulaCall um dispositivo de análise dos resultados, afim de verificar se existe diferença nas n simulações. Para tal verificação foi utilizado a Análise de Variância (Anova), disponibilizada através do menu “Resultados” no submenu “Análise dos Resultados”, (figura 3.16).

Figura 3. 16: Popup “Análise dos Resultados”



Quando solicitado a realização da análise de variância pelo usuário, o SimulaCall mostrará na sua área de trabalho três informações mostradas nas figuras abaixo:

Figura 3. 17: Caixa informativa sobre o resultado obtido



Nesta Caixa informativa, apresentará a mensagem indicando se existe ou não diferença entre as médias das diferentes simulações realizadas.

Figura 3. 18: Tabela de Resultados da Anova

 A imagem mostra uma janela de software intitulada "Figure 2: One-way ANOVA" com uma barra de menu (File, Edit, View, Insert, Tools, Desktop, Window, Help) e uma tabela de resultados. A tabela é intitulada "ANOVA Table" e contém os seguintes dados:

Source	SS	df	MS	F	Prob>F
Columns	1.4946	9	0.16607	0.56	0.8323
Error	68.7263	230	0.29881		
Total	70.2209	239			

A tabela de resultados da Análise de Variância mostra os valores numéricos utilizados nas comparações realizadas para testar a hipótese de igualdade entre os conjuntos de dados.

Se o valor de $Prob>F$ (canto superior direito da figura 3.18) for maior que 0,05 ou seja nível de significância de 95%, pode-se aceitar a hipótese que as médias são iguais, caso contrário rejeita-se esta hipótese.

4 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO SIMULACALL

Para exemplificar o uso da ferramenta de simulação SimulaCall, utilizou-se a base de dados do trabalho de Barboza (2000). A autora estudou o funcionamento de uma central de atendimento telefônico, responsável por um *Call Center* que realiza atendimento de auxílio à lista telefônica.

O trabalho desenvolvido por Barboza (2000) tinha como um dos seus objetivos, determinar a quantidade ótima de atendentes para cada hora do dia através da Programação Inteira, levando em consideração as demandas necessárias para atender as exigências da contratante e as preferências de horários dos próprios atendentes.

Para exemplificar a utilização do SimulaCall foram realizadas três simulações, sendo estas:

- Na primeira simulação foram utilizados os dados coletados junto à empresa, bem como a sua escala de atendentes.
- Na segunda simulação realizada, mantiveram-se todas as outras informações coletadas junto à empresa com exceção da escala de atendentes, que nesta foi utilizada a escala proposta por Barboza (2000).
- Na terceira simulação foi utilizada a escala de funcionários proposta por Barboza (2000) e considerando que a taxa de chegada teve um acréscimo de 10% em seu valor, com o intuito de observar as consequências desse aumento na formação de filas da empresa analisada.

4.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

O *Call Center* analisado possui 66 terminais telefônicos para o atendimento aos usuários, sendo que o serviço é ofertado 24 horas por dia. De acordo com o contrato da empresa, 97% das ligações devem ser atendidas antes de 10 segundos, isto significa que 97% das ligações não podem esperar mais que 10 segundos na fila.

A empresa possui um quadro de 149 atendentes, sendo que destes 21 trabalham 3 horas/dia, 58 trabalham 4 horas/dia e 70 trabalham 6 horas/dia. Os horários dos atendentes se encontram na tabela abaixo:

Tabela 4. 1: Horário e Quantidade de Atendentes da Empresa

Atendentes/ Horário de Início	3 horas/dia	4 horas/dia	6 horas/dia
00:45 h	-	-	3
06:15 h	-	-	4
06:45 h	-	-	1
07:00 h	-	-	12
07:30 h	-	-	1
08:00 h	3	12	3
09:00 h	2	6	2
10:00 h	-	4	5
11:00 h	2	-	-
12:00 h	1	-	8
12:45 h	-	-	1
13:00 h	2	8	9
13:30 h	-	2	-
14:00 h	2	7	6
15:00 h	-	1	2
16:00 h	4	2	2
17:00 h	1	2	-
18:00 h	1	1	5
18:45 h	-	-	6
19:00 h	2	8	-
20:00 h	1	1	-
21:00 h	-	3	-
23:00 h	-	1	-
Total de Atendentes	21	58	70

Fonte: Barboza (2000)

Em sua pesquisa, Barboza (2000), propôs uma nova escala de funcionários mostrada na tabela 4.2:

Tabela 4. 2: Horário e Quantidade de Atendentes Proposta por Barboza (2000)

Atendentes/ Horário de Início	3 horas/dia	4 horas/dia	6 horas/dia
0:00	-	-	1
0:30	-	-	3
6:00	-	1	2
6:30	-	-	3
7:00	-	8	-
7:30	-	-	-
8:00	-	9	4
8:30	1	-	-
9:00	1	-	14
10:00	-	-	9
11:00	6	-	-
12:00	-	-	3
12:30	1	-	2
13:00	3	5	-
14:00	-	8	5
15:00	7	3	1
16:00	2	5	6
17:00	-	5	3
18:00	-	1	-
18:30	-	-	2
19:00	-	-	-
20:00	-	7	-
20:30	-	1	-
21:00	-	2	-
22:00	-	1	-
23:00	-	-	-
Total de Atendentes	21	56	58

Fonte: Barboza (2000)

Barboza(2000), em seu trabalho, realizou a coleta das outras informações entre os dias 13 a 17 de setembro de 1999, considerando apenas os dias úteis, isto é, de 2ª feira a 6ª feira (Anexo 1). Tais informações pesquisadas foram:

- Número total de chamadas recebidas a cada hora do dia;
- Número de ligações que ultrapassaram o limite estipulado de 10 segundos (Grau de atendimento);

- Tempo médio de atendimento;
- Número de atendentes em cada horário;
- Número de atendentes faltantes a cada hora;

4.2 SIMULAÇÕES

Como dito foram realizadas três simulações, a primeira foi utilizando as informações da própria empresa, para tal, o primeiro passo foi à preparação dos dados. Tomando como base a tabela 4.1 e tabela 4.2, do item anterior, foram construídas duas matrizes de Escalas, no Microsoft Excel, contendo o horário de trabalho de todos os atendentes da empresa.

Figura 4. 1: Matriz “Escalas dos Atendentes”, construída no Microsoft Excel

Microsoft Excel - Escalas.xls

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda

Arial 10 N I S

R5

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	
1		Horarios dos atendentes								Horarios dos atendentes							
2		nºatendente	Serviço	Início	Intervalo	Término				nºatendente	Serviço	Início	Intervalo	Término			
3		1	1	07:00	08:00	08:00	11:00			1	1	25200	28800	28800	39600		
4		2	1	16:00	17:00	17:00	20:00			2	1	57600	61200	61200	72000		
5		3	1	09:00	10:00	10:00	15:00			3	1	32400	36000	36000	54000		
6		4	1	00:00	01:00	01:00	06:00			4	1	0	3600	3600	21600		
7		5	1	17:00	18:00	18:00	21:00			5	1	61200	64800	64800	75600		
8		6	1	00:00	01:00	01:00	00:00:00			6	1	0	3600	75600	86400		
9		7	1	00:00	00:30	18:30	24:00:00			7	1	0	1800	66600	86400		
10		8	1	08:30	09:30	09:30	11:30			8	1	30600	34200	34200	41400		
11		9	1	16:00	17:00	17:00	22:00			9	1	57600	61200	61200	79200		
12		10	1	09:00	10:00	10:00	15:00			10	1	32400	36000	36000	54000		
13		11	1	14:00	15:00	15:00	18:00			11	1	50400	54000	54000	64800		
14		12	1	07:00	08:00	08:00	11:00			12	1	25200	28800	28800	39600		
15		13	1	16:00	17:00	17:00	20:00			13	1	57600	61200	61200	72000		
16		14	1	06:30	07:30	07:30	12:30			14	1	23400	27000	27000	45000		
17		15	1	11:00	12:00	12:00	14:00			15	1	39600	43200	43200	50400		
18		16	1	09:00	10:00	10:00	15:00			16	1	32400	36000	36000	54000		
19		17	1	07:00	08:00	08:00	11:00			17	1	25200	28800	28800	39600		
20		18	1	09:00	10:00	10:00	15:00			18	1	32400	36000	36000	54000		
21		19	1	16:00	17:00	17:00	22:00			19	1	57600	61200	61200	79200		
22		20	1	09:00	10:00	10:00	15:00			20	1	32400	36000	36000	54000		

Fonte: Adaptado de Barboza (2000)

Como a Empresa presta apenas um serviço, que é o auxílio à lista telefônica, a quantidade de serviços se resume a um só, devido a isso na 2ª coluna da matriz escalas o único valor que aparece é “1” pois se trata do “serviço 1”.

Não foi possível obter a informação se a empresa analisada, disponibiliza-va aos seus atendentes um intervalo no decorrer do trabalho, desta forma foi suposto um valor qualquer para início e termino deste intervalo.

As outras informações utilizadas nesta aplicação de simulação foram extraídas de Barboza (2000). Como próximo passo foi calculado as médias de cada tipo de informação, sendo obtidos os seguintes resultados mostrados na tabela 4.3:

Tabela 4. 3: Dados para a Simulação

Hora		Quantidade média de Ligações	Quantidade de Ligações Interceptadas
Início	Final		
00:00	01:00	233,40	5,2
01:00	02:00	120,40	6,4
02:00	03:00	75,60	1
03:00	04:00	48,80	1,8
04:00	05:00	38,40	0,4
05:00	06:00	45,80	0,8
06:00	07:00	168,00	15,4
07:00	08:00	719,80	59,8
08:00	09:00	1758,40	92,6
09:00	10:00	3213,00	257,6
10:00	11:00	3974,80	445,8
11:00	12:00	3606,60	223,2
12:00	13:00	2842,00	38,6
13:00	14:00	3520,60	167,8
14:00	15:00	3918,20	185,4
15:00	16:00	3789,60	180,4
16:00	17:00	3659,20	269
17:00	18:00	4101,80	635,4
18:00	19:00	2553,40	220,2
19:00	20:00	1978,60	33
20:00	21:00	1707,60	21
21:00	22:00	1368,00	43,4
22:00	23:00	939,80	3,2
23:00	24:00	498,20	15,6

Fonte: Adaptado de Barboza (2000)

Além das duas informações contidas na tabela 4.3, foram extraídos o tempo médio de atendimento que é de 31.28 segundos por cliente. E por consequência a quantidade média de atendimentos por atendente que é de 115,09 clientes por hora.

Tais dados mostrados acima foram utilizados nas duas primeiras simulações propostas. Na terceira simulação foi proposto um aumento na taxa de chegada das ligações de 10%.

4.2.1 Resultados Obtidos nas Simulações

Tendo carregado o SimulaCall com os dados coletados de Barboza (2000), foram realizadas 10 repetições de cada uma das três propostas mencionadas, obtendo assim alguns resultados do serviço de atendimento da Empresa simulada, que presta o serviço de auxílio à lista.

4.2.1.1 Número de Ligações

Conforme anexo 1, o número de ligações é variável durante o dia. No processo de simulação também foram geradas diferentes quantidades de ligações. De posse destas quantidades foram calculadas as médias, mostradas na tabela 4.4:

Tabela 4. 4: Número Médio de Ligações

Hora		Média de ligações (ligações/hora)		
Início	Final	1ª S	2ª S	3ªS
00:00	01:00	236	231	250
01:00	02:00	123	117	132
02:00	03:00	76	76	81
03:00	04:00	47	50	53
04:00	05:00	37	37	41
05:00	06:00	46	44	47
06:00	07:00	170	165	180
07:00	08:00	739	721	792
08:00	09:00	1777	1756	1962

Hora		Média de ligações (ligações/hora)		
Início	Final	1ª S	2ª S	3ª S
09:00	10:00	3295	3314	3674
10:00	11:00	4118	4136	4578
11:00	12:00	3796	3738	4144
12:00	13:00	2882	2902	3201
13:00	14:00	3690	3667	4030
14:00	15:00	4100	4094	4519
15:00	16:00	3998	3953	4372
16:00	17:00	3816	3824	4207
17:00	18:00	4359	4282	4738
18:00	19:00	2599	2606	2880
19:00	20:00	2005	2002	2207
20:00	21:00	1723	1732	1886
21:00	22:00	1341	1358	1486
22:00	23:00	936	934	1038
23:00	24:00	503	505	548

Como na duas primeiras simulações o SimulaCall foi carregado com as mesmas taxas de chegadas, os resultados do número de ligações também foram iguais, com algumas divergências. Já a terceira simulação sofreu um aumento de 10% na quantidade de ligações.

No SimulaCall o número médio de ligações por hora são apresentados através do gráfico “Quantidade de Ligações” e através da Anova verifica-se que as quantidades de ligações foram significativamente iguais nas 10 repetições realizadas, nas três simulações realizadas.

- **1ª Simulação**

Como mencionado anteriormente, o SimulaCall realizou 10 repetições com a mesma base de dados. De acordo com o quadro da Anova (Figura 4.2), não houve diferença significativa entre tais repetições, já que o valor de Prob>F foi igual a 1, ou seja, maior que 0.05.

Considerando que a quantidade de ligações são iguais pode-se *plotar* o gráfico do numero médio de ligações da 1ª Simulação (Figura 4.3).

Com base nas informações descritas observou-se que o período do dia com maior numero de ligações foi entre às 17:00 e 18:00 com 4359 ligações em

média. Já a menor quantidade de ligações se deu entre às 04:00 e 05:00 com apenas 37 ligações.

Figura 4. 2: Quadro da Anova referente à quantidade de ligações da 1ª Simulação.

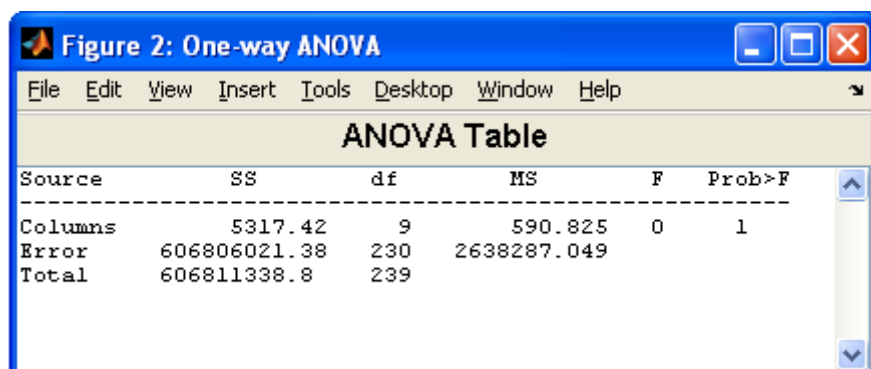
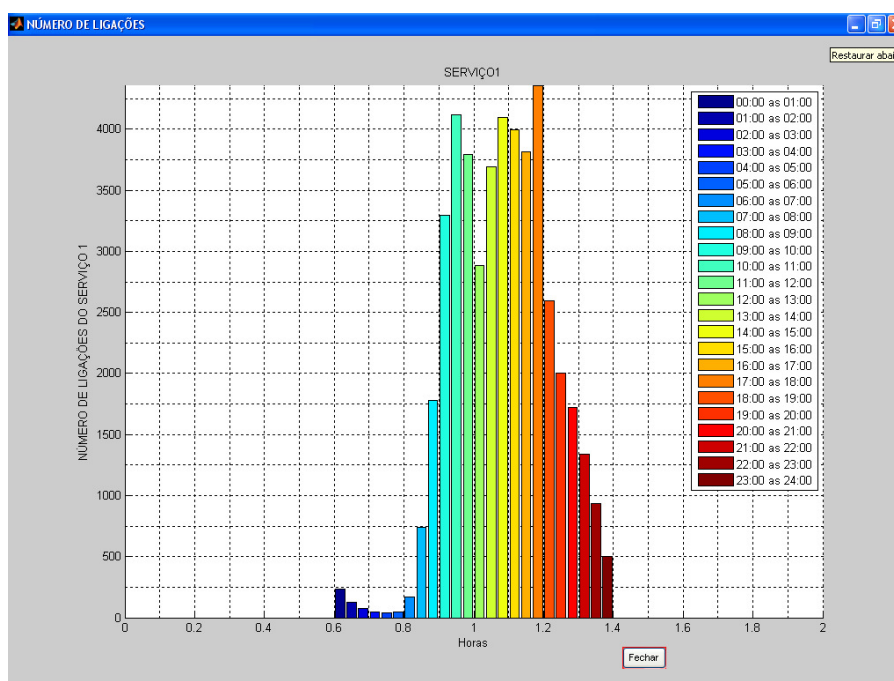


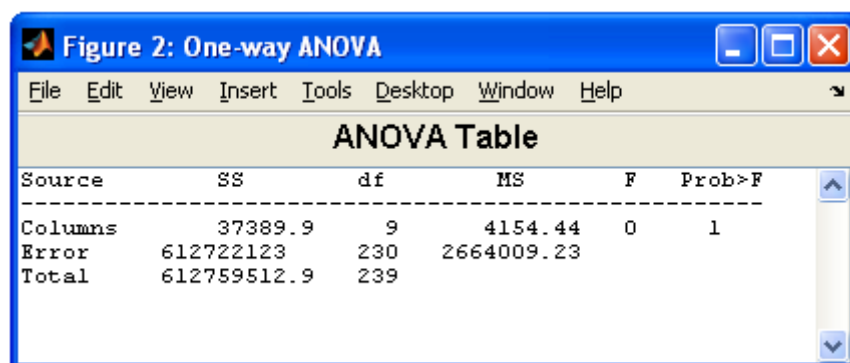
Figura 4. 3: Gráfico “Quantidade de ligações” referente à 1ª Simulação.



• 2ª Simulação

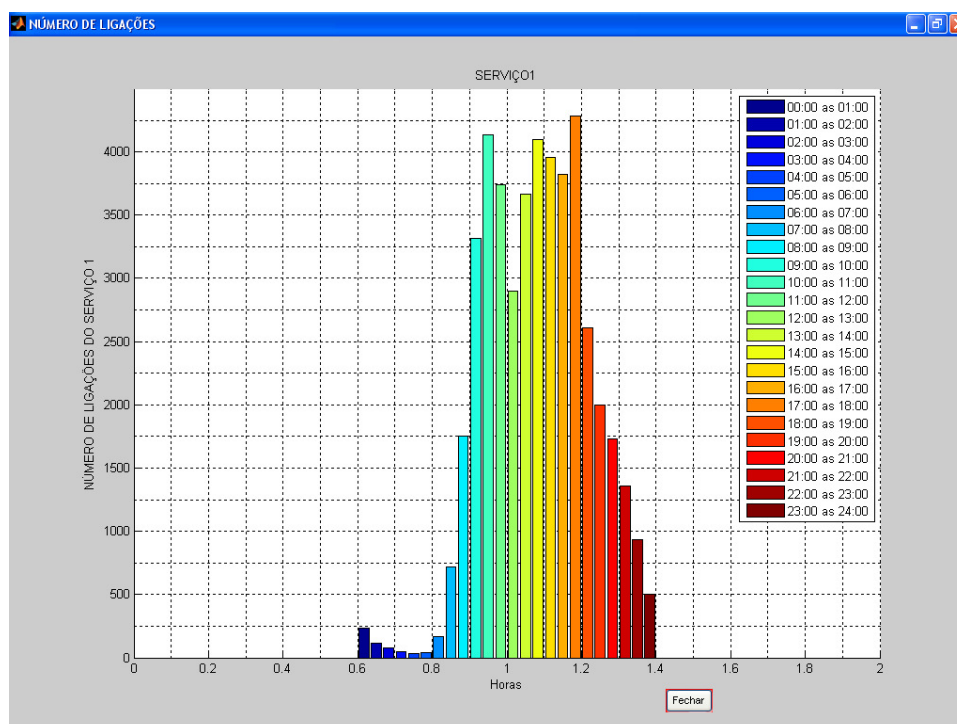
Na 2ª Simulação realizada a maior incidência de ligações também ocorreu entre as 17:00 e 18:00 com 4282 ligações em média e a menor se deu no período entre às 04:00 e 05:00 com 37 ligações.

Figura 4. 4: Quadro da Anova referente à quantidade de ligações da 2ª Simulação



Source	SS	df	MS	F	Prob>F
Columns	37389.9	9	4154.44	0	1
Error	612722123	230	2664009.23		
Total	612759512.9	239			

Figura 4. 5: Gráfico “Quantidade de ligações” referente à 2ª Simulação.

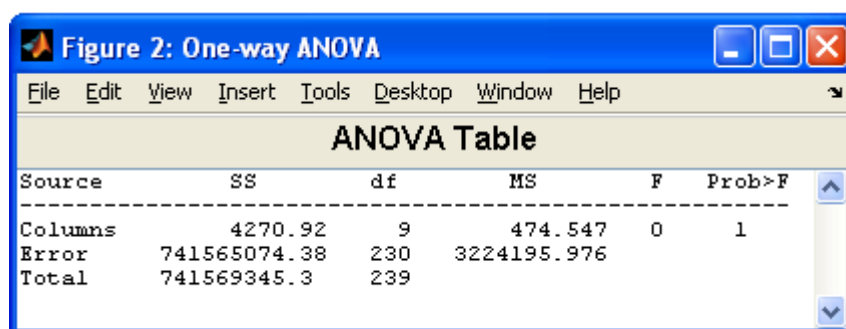


Como o valor de $Prob>F$ foi maior que 0,05 então pode-se considerar que não existe diferença significativa entre as quantidades de ligações da 2ª Simulação, sendo que os valores médios estão apresentados no gráfico anterior.

• 3ª Simulação

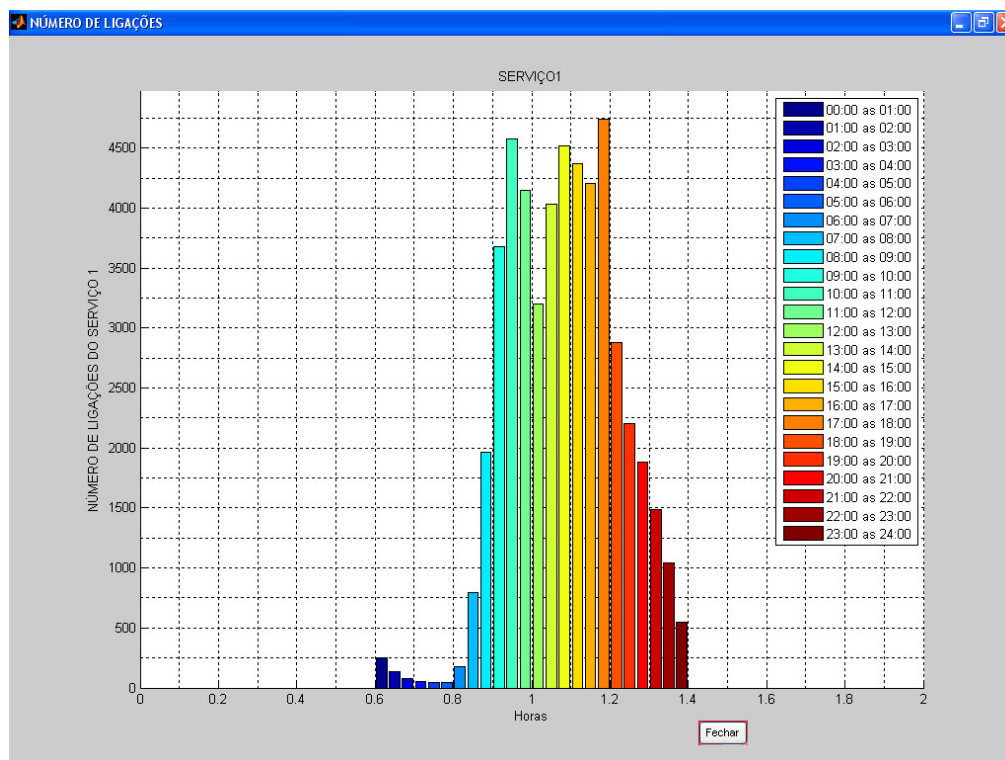
Como mencionado, na 3ª simulação a quantidade de ligações sofreu um acréscimo de 10%. O período do dia com maior índice de ligações ocorreu entre às 17:00 e 18:00 com 4738. Já a menor quantidade de ligações se deu entre 04:00 e 05:00 com apenas 41 ligações. Sendo que as 10 repetições realizadas são significativamente iguais, conforme mostra a figura 4.6:

Figura 4. 6: Quadro da Anova referente à quantidade de ligações da 2 Simulação



Source	SS	df	MS	F	Prob>F
Columns	4270.92	9	474.547	0	1
Error	741565074.38	230	3224195.976		
Total	741569345.3	239			

Figura 4. 7: Gráfico “Quantidade de ligações” referente a 2ª Simulação



4.2.1.2 Tempo Médio de Espera na Fila e Permanência no Sistema

A cada hora do dia a empresa analisada operava com diferentes taxas de chegada e número de atendentes disponíveis, devido a isso tanto o tempo de espera na fila como a permanência do cliente no sistema também é variável. Para melhor agradar os clientes, as empresas buscam sempre que o tempo médio de permanência no sistema seja igual ao tempo médio da duração das chamadas, o que significaria a não formação de filas de espera. Os resultados obtidos nas três simulações realizadas estão apresentados na tabela 4.5.

Tabela 4. 5: Tempo médio de Espera na Fila e de Permanência no Sistema

Hora		Tempo médio de Espera na Fila (segundos)			Tempo médio de Permanência no Sistema (segundos)		
Início	Final	1ªS	2ªS	3ª S	1ª S	2ªS	3ªS
00:00	01:00	0,02	0.03	0.03	31,29	30.75	31.70
01:00	02:00	0,43	0.08	0.04	30,94	31.93	32.00
02:00	03:00	0,73	0.08	0.13	32,54	31.77	32.12
03:00	04:00	0,96	0.00	0.02	31,77	34.03	30.42
04:00	05:00	0,37	0.00	0.00	32,40	35.39	30.61
05:00	06:00	0,02	0.00	0.06	29,79	32.38	32.84
06:00	07:00	1,10	0.01	0.04	31,64	31.47	31.73
07:00	08:00	0,00	0.03	0.13	31,60	31.42	32.00
08:00	09:00	0,00	0.01	0.05	31,22	31.19	31.31
09:00	10:00	0,04	0.02	0.21	31,13	31.20	31.41
10:00	11:00	0,04	0.09	0.58	31,17	31.26	31.82
11:00	12:00	0,00	0.04	0.35	31,50	31.25	31.72
12:00	13:00	0,00	0.06	0.17	31,44	31.38	31.28
13:00	14:00	0,08	0.09	0.36	31,43	31.46	31.86
14:00	15:00	0,04	0.14	0.66	31,23	31.56	32.04
15:00	16:00	0,05	0.28	1.47	31,40	31.40	32.39
16:00	17:00	0,02	0.05	0.36	31,58	31.09	31.81
17:00	18:00	0,95	0.15	1.25	32,33	31.49	32.54
18:00	19:00	0,03	0.06	0.34	30,92	31.30	31.99
19:00	20:00	0,00	0.04	0.12	31,00	31.04	31.51
20:00	21:00	0,00	0.03	0.07	31,35	31.84	31.38
21:00	22:00	0,00	0.01	0.04	31,01	31.65	31.18
22:00	23:00	0,00	0.02	0.08	31,40	31.61	31.81
23:00	24:00	0,00	0.00	0.00	31,01	30.50	30.94

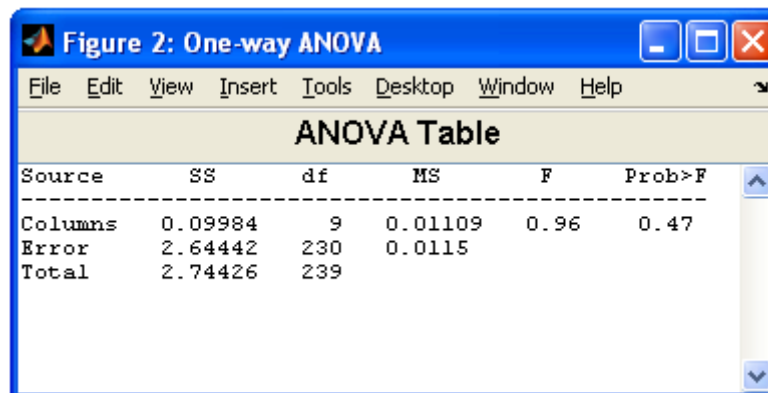
- **1ª Simulação**

Pode-se observar que o tempo médio de espera na fila não foi muito elevado na 1ª simulação (com exceção dos períodos entre 02:00 às 03:00, das 03:00 às 04:00, das 06:00 às 07:00 e das 17:00 às 18:00), sendo em que alguns períodos do dia o tempo de espera na fila foi zero, ou seja, não houve a formação de filas de espera.

Ainda na 1ª Simulação o maior tempo médio de permanência no sistema ocorreu entre 02:00 e 03:00 com um tempo médio de 32,54 segundos

Como foram realizadas 10 repetições do simulador torna-se necessário verificar se as mesmas são significativamente iguais, através da análise de variância, conforme a figura 4.8:

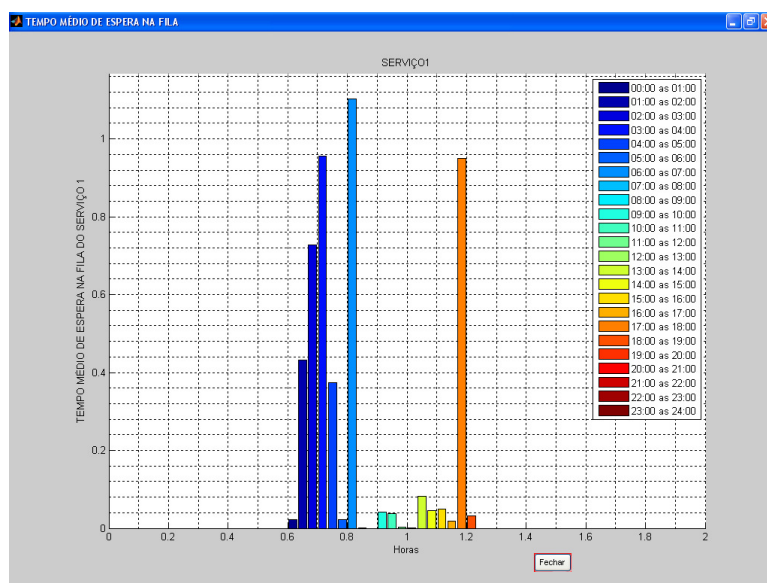
Figura 4. 8: Quadro da Anova referente ao tempo médio de espera na fila da 1ª Simulação



Source	SS	df	MS	F	Prob>F
Columns	0.09984	9	0.01109	0.96	0.47
Error	2.64442	230	0.0115		
Total	2.74426	239			

Pelo quadro da Anova tem-se que não há diferença significativa entre as médias. O tempo médio de espera na fila é apresentado pelo SimulaCall através do gráfico “Tempo médio de Espera na Fila”(Figura 4.9).

Figura 4. 9: Gráfico “Tempo médio de Espera na Fila” referente a 1ª Simulação



• 2ª Simulação

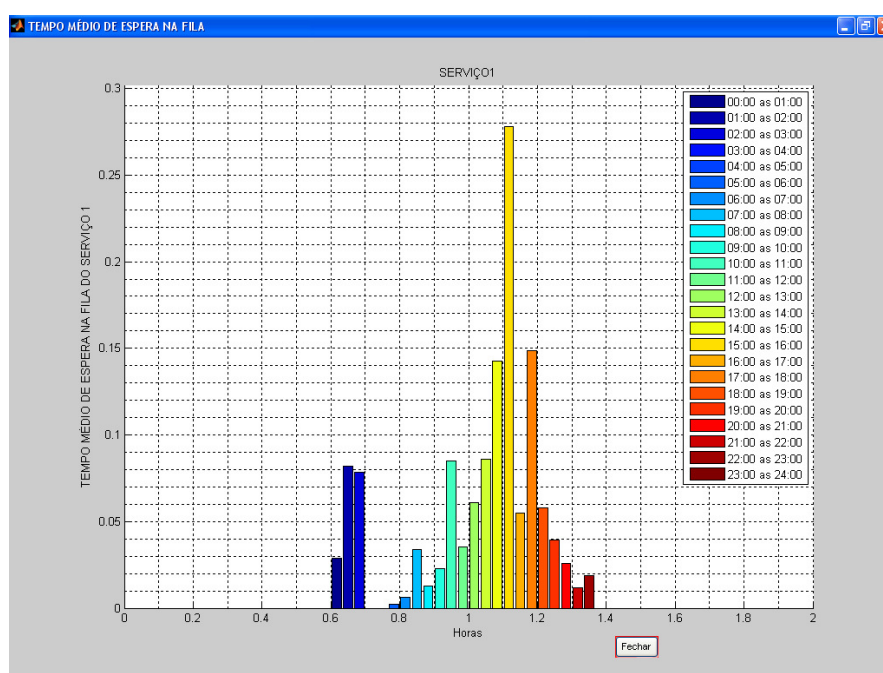
Na 2ª simulação em nenhum período do dia o tempo médio de espera na fila ultrapassou 1 segundo, ressaltando que o horário aqui utilizado foi melhor que o utilizado pela empresa (1ª Simulação).

O maior tempo de espera na fila se deu no período entre 15:00 e 16:00 com um tempo de 0.28 segundos. Já maior tempo de permanência no sistema ocorreu entre 03:00 e 04:00 com uma duração média de 34.03 segundos.

Da mesma forma que na 1ª Simulação a utilização da Análise de variância mostra que não há diferença entre os valores médios das 10 repetições, pois o seu valor crítico foi superior a 0,05, conforme mostra a Figura 4.10:

Figura 4. 10: Quadro da Anova referente ao tempo médio de espera na fila da 2ª Simulação

ANOVA Table					
Source	SS	df	MS	F	Prob>F
Columns	1.4946	9	0.16607	0.56	0.8323
Error	68.7263	230	0.29881		
Total	70.2209	239			

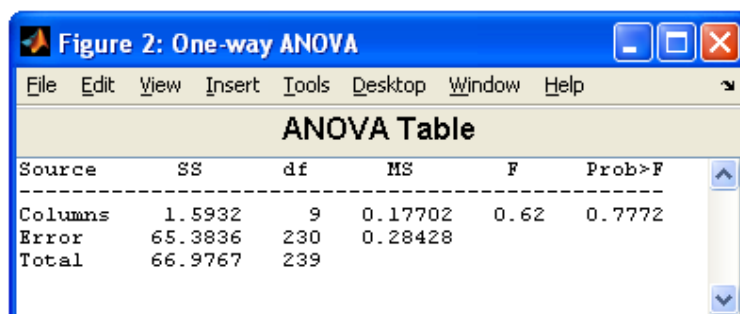
Figura 4. 11: Gráfico “Tempo médio de Espera na Fila” referente a 2ª Simulação

• 3ª Simulação

Na 3ª simulação notou-se que mesmo com o horário proposto por Barboza (2000), se a quantidade de ligações que chegam á empresa sofrer um aumento de 10%, em alguns períodos do dia há novamente uma formação de filas elevada, sendo estes períodos das 15:00 às 16:00 e das 17:00 às 18:00 com os tempos 1.47 e 1.25 respectivamente. Com respeito ao tempo médio de permanência no sistema, a maior média encontrada foi entre o período de 05:00 e 06:00 com uma duração média de 32.84 segundos.

Como nas outras duas simulações foi utilizado a Análise de variância para mostrar que não há diferença entre os valores médios das 10 repetições, sendo que o valor crítico encontrado foi superior a 0,05, conforme mostra a Figura 4.12:

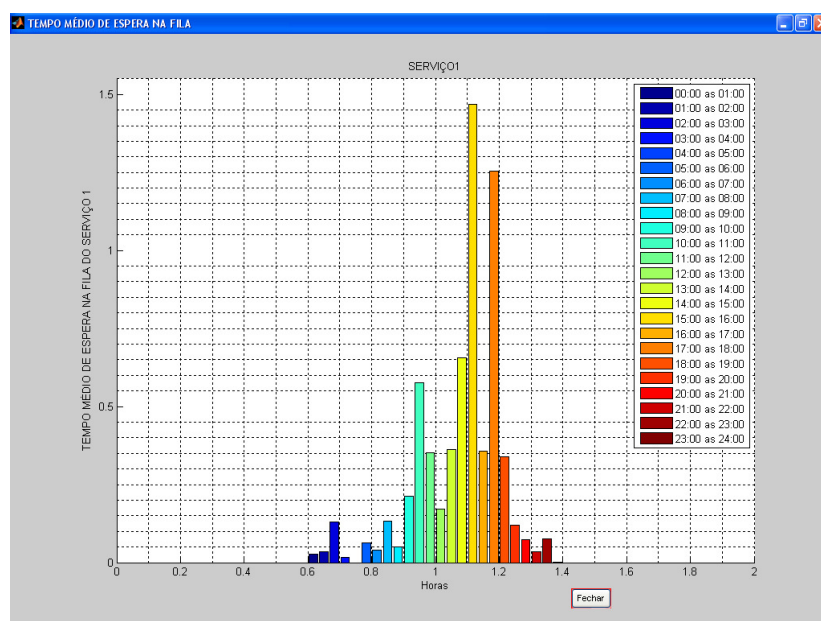
Figura 4. 12: Quadro da Anova referente ao tempo médio de espera na fila da 3ª Simulação



Source	SS	df	MS	F	Prob>F
Columns	1.5932	9	0.17702	0.62	0.7772
Error	65.3836	230	0.28428		
Total	66.9767	239			

No SimulaCall o tempo médio de espera na fila é exposto através do gráfico “Tempo médio de Espera na Fila” mostrado na figura 4.13:

Figura 4. 13: Gráfico “Tempo médio de Espera na Fila” referente a 3ª Simulação



4.2.1.3 Ligações Fora dos Limites e Ociosidade dos Atendentes

Como mencionado no início deste capítulo a empresa analisada possui um contrato com sua mantenedora onde 97% das ligações devem ser atendidas

antes de 10 segundos. De acordo com o SimulaCall foram obtidos os seguintes resultados sobre a quantidade de ligações que ultrapassarão tal limite:

Tabela 4. 6: Ligações Fora dos Limites de Tolerância

Hora		Ligações Fora dos Limites					
		1ª Simulação		2ª Simulação		3ª Simulação	
Início	Final	Média	Taxa	Média	Taxa	Média	Taxa
00:00	01:00	3	98,73%	3	98.70%	0	100.00%
01:00	02:00	4	96,76%	4	96.59%	2	98.48%
02:00	03:00	9	88,19%	1	98.69%	1	98.77%
03:00	04:00	4	91,53%	0	100.00%	1	98.10%
04:00	05:00	2	94,58%	0	100.00%	0	100.00%
05:00	06:00	0	100,00%	0	100.00%	2	95.76%
06:00	07:00	14	91,75%	1	99.39%	1	99.44%
07:00	08:00	0	100,00%	1	99.86%	18	97.73%
08:00	09:00	0	100,00%	6	99.66%	6	99.69%
09:00	10:00	14	99,58%	0	100.00%	79	97.85%
10:00	11:00	2	99,95%	17	99.59%	168	96.33%
11:00	12:00	0	100,00%	0	100.00%	159	96.16%
12:00	13:00	0	100,00%	16	99.45%	32	99.00%
13:00	14:00	29	99,21%	1	99.97%	97	97.59%
14:00	15:00	2	99,95%	67	98.36%	185	95.91%
15:00	16:00	13	99,67%	103	97.39%	698	84.03%
16:00	17:00	8	99,79%	6	99.84%	67	98.41%
17:00	18:00	321	92,64%	47	98.90%	703	85.16%
18:00	19:00	22	99,15%	5	99.81%	122	95.76%
19:00	20:00	0	100,00%	29	98.55%	25	98.87%
20:00	21:00	0	100,00%	1	99.94%	18	99.05%
21:00	22:00	0	100,00%	0	100.00%	7	99.53%
22:00	23:00	0	100,00%	0	100.00%	13	98.75%
23:00	24:00	0	100,00%	0	100.00%	0	100.00%

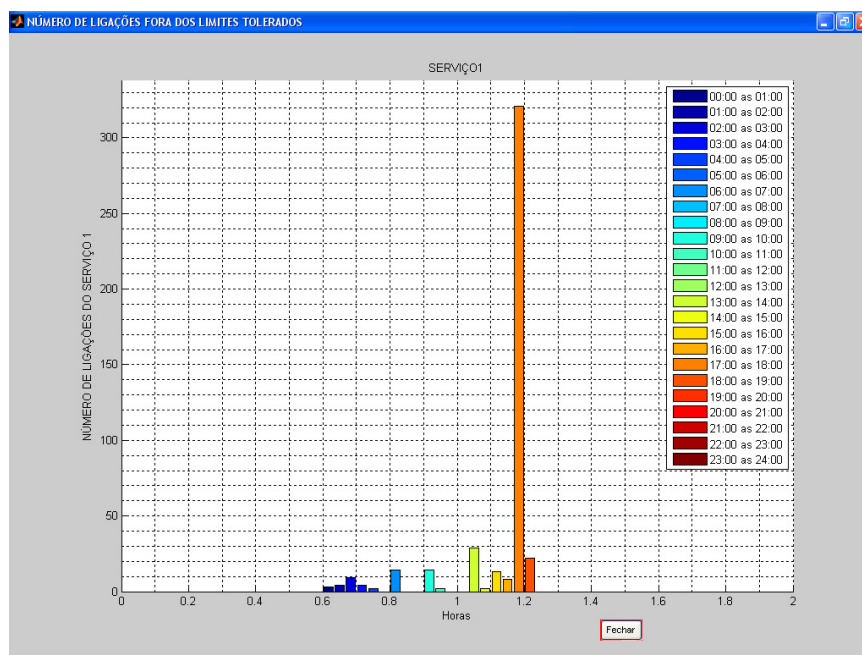
Para Cada simulação realizada foi realizado também a validação dos resultados através a análise de variância, sendo que esta provou que não há diferença significativa entre as médias dos resultados obtidos nas diferentes repetições do simulador.

• 1ª Simulação

Quando o simulador foi rodado com os dados da empresa, observou-se que em seis períodos do dia o grau de atendimento foi inferior ao estipulado pelo contrato, sendo que os períodos mais críticos foram entre 02:00 às 03:00 e das 03:00 às 04:00, onde estes apresentaram uma taxa inferior a 92%.

No SimulaCall, a quantidade de ligações fora dos limites desejados é apresentado pelo gráfico “Número de Ligações Fora dos Limites Tolerados”, mostrado na figura 4.14:

Figura 4. 14: Gráfico “Número de Ligações Fora dos Limites Tolerados” referente à 1ª Simulação.

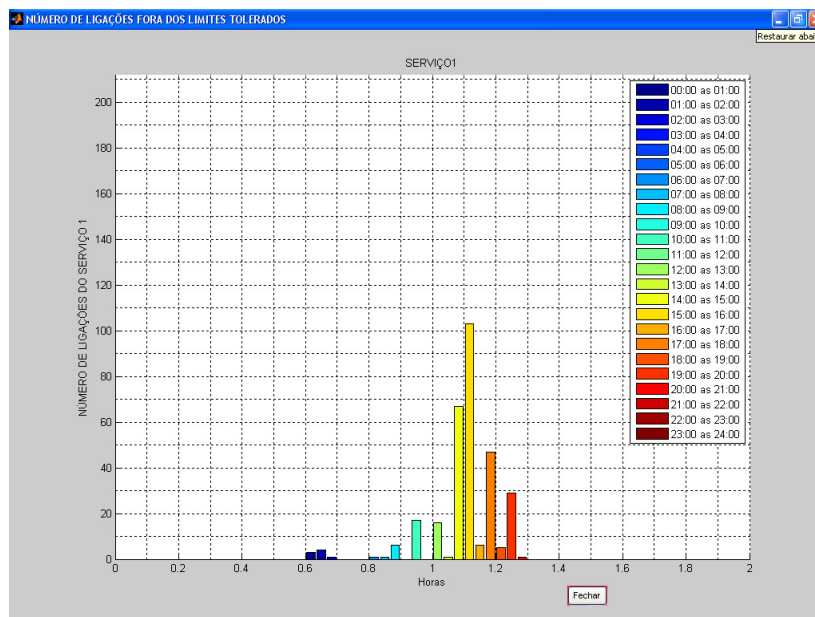


• 2ª Simulação

Na 2ª Simulação, foi utilizada a nova escala de atendentes proposta por Barboza (2000). Notou-se que houve uma melhor distribuição dos atendentes, pois em apenas um período do dia a taxa de 97% foi ultrapassada, mas mesmo assim foi uma taxa muito próxima à estipulada. Outro fator que deve ser considerando no trabalho de Barboza (2000) é que sua escala é composta por apenas 135 atendentes, já a da empresa era composta por 149, o que leva a conclusão, que ainda há 14 atendentes disponíveis para trabalhar em horários com o maior risco de ultrapassar os limites.

A quantidade de ligações que ultrapassarão os limites estipulados na 2ª Simulação são apresentados pela Figura 4.15:

Figura 4. 15: Gráfico “Número de Ligações Fora dos Limites Tolerados” referente à 2ª Simulação.

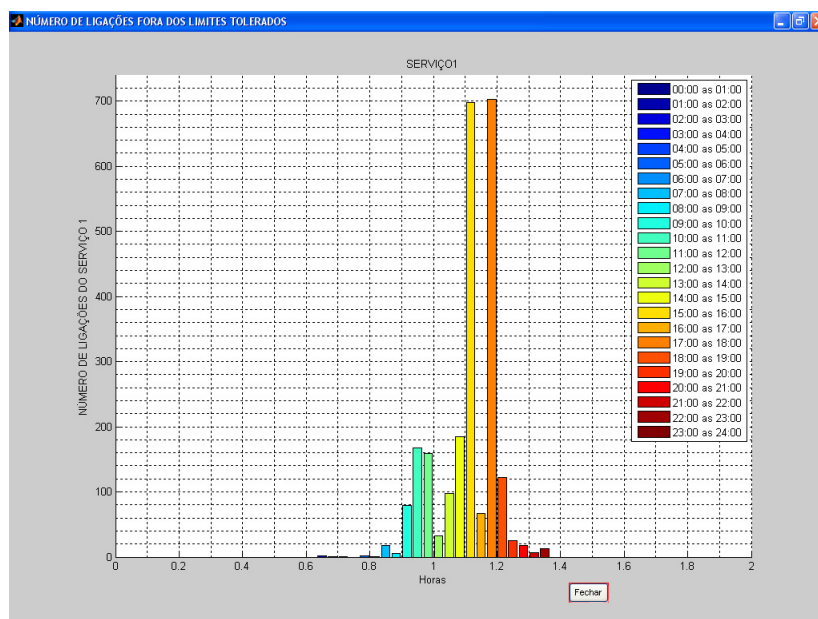


• 3ª Simulação

Como mencionado, a escala de atendentes proposto por Barboza(2000) é melhor do que a escala utilizada pela empresa. Porém esta nova escala consta de 135 atendentes, ou seja, 14 atendentes a menos. No entanto não se deseja com esta escala, dispensar nenhum atendente, sendo que a melhor saída é alocá-los em períodos do dia com mais tendências de ultrapassar os limites de tolerância, ou seja, os 10 segundos de espera na fila. Uma boa forma de verificar quais seriam os horários seria simular um aumento na taxa de chegada ou mesmo na duração das chamadas. Na 3ª Simulação, como comentado no início do capítulo, foi realizado um acréscimo de 10% na taxa de chegada. Com tal simulação foi possível verificar vários períodos do dia onde o grau de atendimento estava inferior aos 97%. Já em outros períodos do dia, mesmo com o acréscimo de 10% o grau de atendimento se manteve em níveis aceitáveis ou até mesmo ótimos. Desta forma a empresa pode alocar seus 14 atendentes que não foram utilizados nesta simulação nos horários com o maior índice de falhas, ocasionando um melhoramento no grau de atendimento.

No SimulaCall, tal resultado é apresentado pelo gráfico “Número de Ligações Fora dos Limites Tolerados”, mostrado na figura 4.16:

Figura 4. 16: Gráfico “Número de Ligações Fora dos Limites Tolerados” referente à 3ª Simulação.

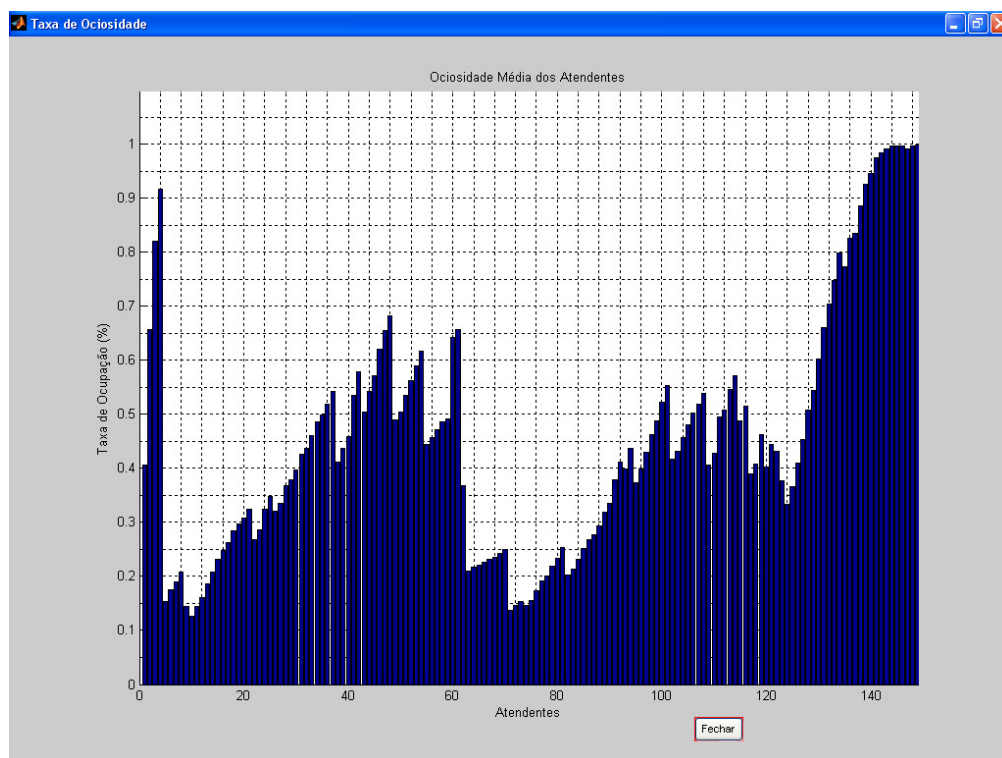


Como o funcionamento de *Call Center* é consideravelmente complexo, podem ocorrer situações em que a fila esteja fora de controle e em questão de pouco tempo, praticamente todos os atendentes podem ficar ociosos. Isto é, no decorrer do processo os atendentes podem ficar ociosos e pode haver filas. Para tal propósito o SimulaCall calcula a ociosidade de todos os atendentes.

Contudo é preciso ressaltar aqui que o simulador desenvolvido não tem por objetivo verificar se um determinado atendente esta trabalhando mais do que outro. Durante o processamento do SimulaCall, este designa as ligações recebidas para o primeiro atendente livre que esteja trabalhando naquele exato instante, não havendo uma distribuição igual para todos os atendentes que estejam trabalhando no instante atual.

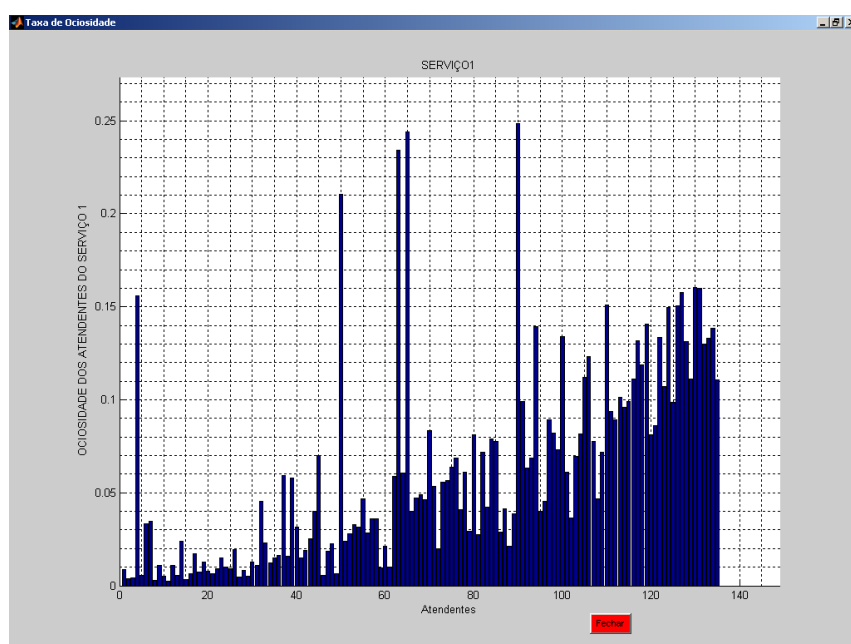
No SimulaCall, tal resultado é apresentado pelo gráfico “Taxa de Ociosidade”, mostrado na figura 4.17:

Figura 4. 17: Gráfico “Taxa de Ociosidade” referente à 1ª Simulação.



De acordo com o gráfico 4.17, mostrado acima, pode-se observar que, na escala utilizada pela empresa, alguns atendentes praticamente não atenderam durante toda a sua jornada de trabalho.

Figura 4. 18: Gráfico “Taxa de Ociosidade” referente à 2ª Simulação.



Já na escala proposta por Barboza(2000) a ociosidade foi inferior ao anterior, sendo que os atendentes com o maior índice de ociosidade durante sua jornada de trabalho, atingiu a marca de 25%.

5 CONCLUSÕES

Qualquer organização moderna, que disponibiliza em sua estrutura funcional um *Call Center* e que pretenda manter-se sólida e atualizada diante das novas exigências e tendências do mundo globalizado, deve estar atenta a necessidades de adaptações, promovendo mudanças quando necessárias, no modelo organizacional.

A qualidade deve ser objetivo de todos os envolvidos com a produção e comercialização de um bem ou serviço, bem como a preocupação com a satisfação do cliente, que por sua vez busca no atendimento telefônico, um serviço rápido e que satisfaça suas necessidades.

Neste contexto, tem-se como uma conclusão que a simulação de sistema possui um papel fundamental no mundo empresarial, cujo objetivo é o de solucionar problemas com alto nível de complexidade. Com a evolução dos computadores e programas computacionais a simulação se apresenta como uma ferramenta ainda mais poderosa em comparação com alguns tempos atrás.

Simulação se refere ao uso do computador para estudar uma variedade de modelos de sistemas reais através da avaliação numérica no computador utilizando *software* para imitar o comportamento do sistema real.

O desenvolvimento de softwares que simulam o funcionamento de *call centers* é de extrema importância para o mundo empresarial, que visam à otimização dos seus recursos. Com este intuito a elaboração deste trabalho teve a intenção de desenvolver uma ferramenta computacional para simular o funcionamento de um *Call Center*. Esta ferramenta, denominada SimulaCall deveria conter uma interface gráfica com o usuário de tal forma que o administrador da empresa pudesse adaptá-lo conforme a sua necessidade, de linguagem acessível a todos os usuários.

Em termos de contribuição para a simulação de *Call Centers*, este trabalho proporcionou:

- Desenvolvimento de um software livre de simulação de Call Center, a fim de oportunizar o acesso do mesmo, tanto para administradores de empresas quanto para estudantes interessados em simulação de *Call Center*.
- Propiciar a utilização deste software para fins didáticos. Sua interface gráfica é extremamente acessível, mesmo considerando que os usuários não tenham total domínio sobre a linguagem que o software foi desenvolvido.
- O Software SimulaCall pode ser também utilizado para estudar o comportamento de outros tipos de filas e não necessariamente a formação de filas em Centrais de Atendimento Telefônico.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Algumas sugestões para trabalhos futuros são:

- Programar o SimulaCall em outras linguagens, afim de desenvolver um executável, possibilitando ao usuário sua utilização sem a necessidade de possuir o Matlab®7.
- Realizar um melhoramento na interface gráfica ao usuário, possibilitando a simulação de outros sistemas, conforme a necessidade do usuário.
- O melhorar as entradas de dados ao usuário. Possibilitar através da interface gráfica a informação sobre a jornada de trabalho de cada um dos atendentes, dispensando a utilização do Microsoft Excel, o qual é utilizado neste trabalho.
- Realizar melhoramentos na parte dos resultados gráficos do SimulaCall, afim de propiciar ao usuário melhores resultados e dispositivos de verificação sobre a *Call Center* analisado.

- Associar os resultados do simulador com algum outro software de otimização como, por exemplo, o Lingo, com o objetivo de realizar o processo de otimização mais precisa.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, E. L. DE. **Introdução à Pesquisa Operacional: Métodos e Modelos para Análise de Decisões**, 3 ed. Rio de Janeiro, LTC, 2004.

ANTON, J. **Otimizando sua Central de Atendimento Através de Simulação**. Call Centers Solutions, Outubro 1998.

ARAÚJO, M. A. V et all. **Modelo para segmentação da demanda de um Call Center em múltiplas prioridades: Estudo da implantação em um Call Center de Telecomunicações**. Revista Produção, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 2004.

ATTENDER. **Attender Serviços de Informática Ltda**. Disponível em: <http://www.attender.com.br/>. Acesso em 15 de Março de 2007.

BARBOSA, M. Z. **Aplicação de Técnicas de Simulação para o estudo do Funcionamento dos Atendimentos Ambulatoriais**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná – UFPR, 2002.

BARBOZA, A. O. **Aplicações de Técnicas da Pesquisa Operacional na Otimização de Horários de Atendimento de Atendentes em Central Telefônica**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Paraná – UFPR, 2000.

BRASIL ANATEL. **Agência Nacional de Telecomunicações. Resolução 30, de 29 de junho de 1998 - Plano Geral de Metas de Qualidade para o Serviço Telefônico Fixo Comutado**. Disponível em: <http://www.anatel.gov.br>>. Acesso em: 15 julho de 2007.

BRASIL. **Ministério do Trabalho e Emprego (MTE). Norma Regulatória NR 17 - Trabalho em Telemarketing e Teatendimento**. Disponível em: <<http://www.mte.gov.br>>. Acesso em: 15 julho de 2007.

BRITO, V. **Aplicação de Simulação como Ferramenta de Apoio a Elaboração de um Planejamento Estratégico de Capacidade**. Centro de Estudos em Logística – COPPEAD/UFRJ , Janeiro, 2007.

BRONSON, R. **Pesquisa Operacional. Coleção Schaum**. São Paulo. McGraw-Hill do Brasil, 1985.

CARVALHO, J. L. B. **Comparação de Métodos Amostrais Contemporâneas em Simulação Monte Carlo: Aplicação à Precificação de Opções**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, 2006.

CHWIF, L. & MEDINA, A. C. **Introdução ao Software de Simulação Simul8**, Tecnologia de Simulação Ltda, 2006.

CORREA, H. L. & GIANESI, I. **Administração Estratégica de serviços**. São Paulo, Atlas, 1994.

COSTA, D. M. B. **Uma Metodologia Iterativa para Determinação de Zonas de Atendimento de Serviços Emergenciais**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 2003.

COSTA, L. C. **Teoria das Filas e Simulação**: notas de aula. Universidade Federal do Maranhão – UFMA, 2004.

FILHO, B. S. DA S. **Curso de SIMULINK 2.0**: Modelagem, Simulação e Análise de Sistemas Dinâmicos. Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, 2005.

GAVIRA, M. D. O. **Simulação Computacional como uma Ferramenta de Aquisição de Conhecimento**. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo – USP, 2003.

GUIMARÃES, I. F.G. **Modelo de Rede de Filas para Avaliação de Desempenho em Trechos Singelosde Malhas Ferroviárias**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, 2005.

HOWEL, F. **Simjava Support**. Ross Mcnab, disponível no site <www.dcs.ed.ac.uk/home/hase/simjava>, acesso em 31 de Julho de 2007.

KLUNGLE, R. **The Role of Simulation in Call Center Management**. Business operations Analysis, 2005.

MATSUMOTO, E. Y. **Matlab[®] 7**: Fundamentos 1ed. São Paulo, Érica, 2004.

MINGHELLI, G. R. **Call Center: Estudo de Casos Múltiplos em Empresas de Telefonia do Estado do Rio Grande do Sul**. Monografia de conclusão de Curso. Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, 2002.

NETO, A. N. R. & PINTO, L.R. **Template do programa Arena para simulação das operações de carregamento e transporte em minas a céu aberto**, Revista Escola de Minas, Março de 2004.

PERIN, C. **Simulação de Sistemas**, notas de aula. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, 1999.

SCHAPPO, A. J. **Um Método Utilizando Simulação Discreta e projeto Experimental para Avaliar o Fluxo na Manufatura enxuta**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 2006.

SENAC. **Serviço nacional de Aprendizagem Comercial**. Disponível em: <<http://www.senac.br/>>, acesso em 22 setembro de 2006.

SILVA, L. C. DA. **Verificação, Validação e Experimentação com Modelos de Simulação**. Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, 2006.

TEXEIRA, M. M. **Simulação e Teoria das Filas**, notas de aula. Universidade Federal do Maranhão – UFMA, 2004.

YONAMINE, J. S. G. **O Setor de Call Center e Métodos Quantitativos: Uma Aplicação da Simulação**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, 2006.

ANEXO

ANEXO 1: Dados coletados por Barboza (2000) junto a Empresa Exímia

Data: 13 de Setembro de 1999

HORA	ENTRADA	INT	TMO	GA (%)	AT'S	FALTAS	
00:00	01:00	250	23	26	94,87	5	0
01:00	02:00	151	9	24	96,26	4	0
02:00	03:00	97	0	27	100,00	4	0
03:00	04:00	58	1	27	99,57	3	0
04:00	05:00	43	0	20	100,00	3	0
05:00	06:00	36	0	22	100,00	3	0
06:00	07:00	208	35	23	90,61	3	1
07:00	08:00	848	109	28	94,10	17	1
08:00	09:00	2102	205	33	95,04	32	2
09:00	10:00	3695	555	33	93,73	42	2
10:00	11:00	4466	717	34	92,63	50	2
11:00	12:00	4194	379	33	95,50	51	2
12:00	13:00	3171	65	32	99,05	47	0
13:00	14:00	4043	372	32	95,77	48	0
14:00	15:00	4353	591	34	93,76	52	0
15:00	16:00	4015	223	34	97,23	52	0
16:00	17:00	4056	220	34	97,51	53	0
17:00	18:00	4335	1638	33	82,65	48	0
18:00	19:00	2655	146	32	97,47	41	0
19:00	20:00	2114	50	33	98,91	36	2
20:00	21:00	1978	27	33	99,37	28	2
21:00	22:00	1595	181	34	95,26	26	2
22:00	23:00	973	10	30	99,57	22	2
23:00	00:00	387	0	32	100,00	16	0

Data: 14 de Setembro de 1999

HORA	ENTRADA	INT	TMO	GA(%)	AT'S	FALTAS	
00:00	01:00	224	0	28	100,00	11	0
01:00	02:00	99	0	25	100,00	4	0
02:00	03:00	75	3	25	97,88	4	0
03:00	04:00	55	5	24	96,21	3	0
04:00	05:00	22	0	26	100,00	3	0
05:00	06:00	60	2	29	98,14	3	0
06:00	07:00	161	22	28	91,70	3	1
07:00	08:00	702	37	26	97,80	17	1
08:00	09:00	1667	17	34	99,57	33	1
09:00	10:00	3313	281	35	96,10	41	1
10:00	11:00	4262	1054	35	89,68	52	1
11:00	12:00	3852	404	34	95,18	53	1
12:00	13:00	3317	62	32	99,14	59	1
13:00	14:00	3700	231	33	97,13	50	0
14:00	15:00	3817	84	35	98,77	56	0
15:00	16:00	3708	138	34	98,15	52	0
16:00	17:00	3720	439	37	95,07	53	0
17:00	18:00	4209	853	34	90,69	51	0
18:00	19:00	2457	191	34	96,75	44	0
19:00	20:00	1727	12	33	99,63	37	1
20:00	21:00	1363	21	34	99,35	29	1
21:00	22:00	1151	0	34	100,00	26	1
22:00	23:00	789	0	34	100,00	23	1
23:00	00:00	403	0	34	100,00	17	0

Data: 15 de Setembro de 1999

HORA	ENTRADA	INT	TMO	GA(%)	AT'S	FALTAS	
00:00	01:00	173	0	33	100,00	10	1
01:00	02:00	113	1	31	99,84	4	1
02:00	03:00	79	1	24	99,12	4	1
03:00	04:00	33	0	28	100,00	3	1
04:00	05:00	22	0	33	100,00	3	1
05:00	06:00	51	0	32	100,00	3	1
06:00	07:00	151	4	29	98,39	5	2
07:00	08:00	695	65	28	95,70	16	3
08:00	09:00	1656	153	33	96,14	33	3
09:00	10:00	3059	261	34	96,44	42	5
10:00	11:00	3660	171	34	97,85	50	5
11:00	12:00	3244	72	34	98,89	50	3
12:00	13:00	2682	31	33	99,46	44	2
13:00	14:00	3504	125	33	98,22	50	2
14:00	15:00	4122	118	34	98,57	55	1
15:00	16:00	3689	68	35	99,08	54	1
16:00	17:00	3833	250	34	96,75	53	1
17:00	18:00	4253	374	35	95,96	54	1
18:00	19:00	2538	236	33	95,73	40	1
19:00	20:00	2149	15	33	99,67	38	0
20:00	21:00	1883	1	33	99,97	32	0
21:00	22:00	1436	12	32	99,69	26	1
22:00	23:00	930	4	34	99,86	22	1
23:00	00:00	445	0	31	100,00	14	1

Data: 16 de Setembro de 1999

HORA	ENTRADA	INT	TMO	GA(%)	AT'S	FALTAS	
00:00	01:00	248	3	32	99,70	8	2
01:00	02:00	129	14	29	94,61	4	0
02:00	03:00	62	0	33	100,00	4	0
03:00	04:00	50	2	25	97,42	3	0
04:00	05:00	47	1	21	99,47	3	0
05:00	06:00	29	0	27	100,00	3	0
06:00	07:00	156	1	26	99,84	6	0
07:00	08:00	686	49	29	96,72	17	1
08:00	09:00	1856	19	33	99,53	34	1
09:00	10:00	3128	60	35	99,04	45	1
10:00	11:00	3875	155	34	98,01	53	1
11:00	12:00	3318	135	35	97,97	51	1
12:00	13:00	2461	10	33	99,79	43	1
13:00	14:00	3362	101	33	98,50	48	1
14:00	15:00	3556	84	36	99,01	53	1
15:00	16:00	3951	425	34	95,51	53	1
16:00	17:00	3356	242	36	96,99	55	1
17:00	18:00	3954	166	35	97,91	55	2
18:00	19:00	2676	426	31	92,69	34	3
19:00	20:00	2055	67	32	98,64	33	3
20:00	21:00	1730	25	32	99,39	26	3
21:00	22:00	1369	21	33	99,52	26	3
22:00	23:00	903	2	34	99,90	23	2
23:00	00:00	506	3	31	99,81	14	2

Data: 16 de Setembro de 1999

HORA	ENTRADA	INT	TMO	GA(%)	AT'S	FALTAS	
00:00	01:00	272	0	34	100,00	9	1
01:00	02:00	110	8	33	95,59	4	0
02:00	03:00	65	1	29	99,56	4	0
03:00	04:00	48	1	21	99,48	3	0
04:00	05:00	58	1	18	99,57	3	0
05:00	06:00	53	2	23	97,63	3	0
06:00	07:00	164	15	28	95,45	5	1
07:00	08:00	668	39	29	97,56	16	2
08:00	09:00	1511	69	33	97,90	31	4
09:00	10:00	2870	131	34	97,90	42	4
10:00	11:00	3611	132	34	98,32	50	4
11:00	12:00	3425	126	34	98,31	50	2
12:00	13:00	2579	25	31	99,59	40	1
13:00	14:00	2994	10	33	99,84	49	1
14:00	15:00	3743	50	34	99,29	54	0
15:00	16:00	3585	48	34	99,38	56	0
16:00	17:00	3331	194	34	97,32	55	0
17:00	18:00	3758	86	33	98,94	52	1
18:00	19:00	2441	102	31	98,08	36	0
19:00	20:00	1848	21	32	99,47	33	0
20:00	21:00	1584	31	34	99,27	30	0
21:00	22:00	1289	3	33	99,86	28	0
22:00	23:00	1104	0	33	100,00	26	0
23:00	00:00	750	75	30	95,93	17	0